

明 細 書

発光素子及びその製造方法

技術分野

[0001] この発明は発光素子及びその製造方法に関する。

背景技術

[0002] 発光ダイオードや半導体レーザー等の発光素子に使用される材料及び素子構造は、長年にわたる進歩の結果、素子内部における光電変換効率が理論上の限界に次第に近づきつつある。従って、一層高輝度の素子を得ようとした場合、素子からの光取出し効率が極めて重要となる。例えば、AlGaInP混晶により発光層部が形成された発光素子は、薄いAlGaInP(あるいはGaInP)活性層を、それよりもバンドギャップの大きいn型AlGaInPクラッド層とp型AlGaInPクラッド層とによりサンドイッチ状に挟んだダブルヘテロ構造を採用することにより、高輝度の素子を実現できる。このようなAlGaInPダブルヘテロ構造は、AlGaInP混晶がGaAsと格子整合することを利用して、GaAs単結晶基板上にAlGaInP混晶からなる各層をエピタキシャル成長させることにより形成できる。そして、これを発光素子として利用する際には、通常、GaAs単結晶基板(以下、単にGaAs基板ということがある)をそのまま素子基板として利用することも多い。しかしながら、発光層部を構成するAlGaInP混晶はGaAsよりもバンドギャップが大きいので、発光した光が素子基板部に吸収されて十分な光取出し効率が得られにくい難点がある。

[0003] そこで、特開2001-339100号公報には、成長用のGaAs基板を剥離する一方、補強用の素子基板(導電性を有するもの)を、反射用のAu層を介して剥離面に貼り合わせる技術が開示されている。また、日経エレクトロニクス2002年10月21日号124頁〜132頁には、反射率の波長依存性がAuよりも小さいAlにて反射層を構成することにより、反射強度を高めるようにした発光素子が開示されている。該日経エレクトロニクス2002年10月21日号124頁〜132頁の素子構造においては、発光層部とシリコン基板からなる素子基板との間にAl反射層が配置され、さらに、Al反射層とシリコン基板との間には、シリコン基板と発光層部との貼り合わせ接合を容易にするために

、Au層を介在させている。具体的には、発光層部側に形成したAl反射層を覆うようにAu層を形成し、他方シリコン基板側にもAu層を形成して、それらAu層同士を密着させて貼り合わせを行なうようにしている。

- [0004] 特開2001-339100号公報及び日経エレクトロニクス2002年10月21日号124頁〜132頁は、いずれも発光素子の光取出し効率の向上を図る観点において、光吸収性のGaAs基板は「百害あって一利なし」の技術思想に立脚しており、GaAs基板を完全除去することに主眼が置かれている。シリコン基板などと比較すればかなり高価なGaAs基板を、何ら利用の考慮もなく全て除去し、別に補強用のシリコン基板を設けるというのは、光取出し効率を優先させるためとはいえ、いかにも無駄が多すぎるといえる。また、発光層部成長用のGaAs基板は、素子製造時に必要なハンドリングのための強度を担う役割も有するのであるが、これを除去すれば、ごく薄い発光層部のみでハンドリング等に耐えうる強度を到底確保できるはずもない。従って、上記文献では、GaAs基板を発光層部から除去したあと、Au層を介してシリコン基板を発光層部に貼り合わせ、このシリコン基板をGaAs基板に代わる補強用の基板として利用するのであるが、新たな基板の貼り合わせ工程が必要となる。

発明の開示

- [0005] 本発明の課題は、これまで全面的に除去されていた発光層部成長用のGaAs基単結晶を、機能的素子構成要素として有効利用することができ、しかも、発光光束の外部への取出し効率も高めることができる発光素子とその製造方法を提供することにある。
- [0006] 本発明の発光素子は、GaAs単結晶からなる基板本体部の第一主表面に、GaAsと異なる組成のIII-V族化合物半導体単結晶からなる分離用化合物半導体層をエピタキシャル成長し、該分離用化合物半導体層上にGaAs単結晶からなる副基板部をエピタキシャル成長することにより複合成長用基板を作成し副基板部の第一主表面上に発光層部を有した主化合物半導体層をエピタキシャル成長し、さらに分離用化合物半導体層を化学エッチングにて除去することにより複合成長用基板から副基板部が分離されて主化合物半導体層の第二主表面上への残留基板部となるとともに、該残留基板部の一部が切り欠かれて形成された切欠き部の底面が、発光層部から

の発光光束に対する光取出面又は反射面とされることを特徴とする。

[0007] また、本発明の発光素子の製造方法は、上記発光素子の製造方法であって、

GaAs単結晶からなる基板本体部の第一主表面に、GaAsと異なる組成のIII-V族化合物半導体単結晶からなる分離用化合物半導体層をエピタキシャル成長し、該分離用化合物半導体層上にGaAs単結晶からなる副基板部をエピタキシャル成長することにより複合成長用基板を作成する複合成長用基板作成工程と、

副基板部の第一主表面上に、発光層部を有した主化合物半導体層をエピタキシャル成長する発光層部成長工程と、

分離用化合物半導体層を化学エッチングにて除去することにより複合成長用基板から副基板部を分離して主化合物半導体層の第二主表面上への残留基板部となす基板本体部除去工程と、

残留基板部の一部を切り欠いて切欠き部を形成する切欠き部形成工程と、
を有することを特徴とする。

[0008] 上記本発明においては、基板本体部、分離用化合物半導体層及び副基板部からなる複合成長用基板の、発光層部の結晶成長に使用する側の主表面(すなわち、第一主表面)側をなす副基板部を複合成長用基板から分離し、発光層部を含む主化合物半導体層の第二主表面側に残して残留基板部とする。さらに、残留基板部の一部を切り欠いて切欠き部を形成し、該切欠き部の底面を、発光層部からの発光光束に対する光取出面又は反射面として利用することにより、素子の光取出し効率を高めることができる。他方、GaAs単結晶からなる残留基板部は素子構成要素として有効活用することができる。具体的には、次のような利用形態がある。

- ・発光層部の支持体とする。

- ・主化合物半導体層の第一主表面か第二主表面のいずれかに、これを部分的に覆う光取出面側電極を形成する場合、その光取出面側電極直下領域への分配電流を迂回させるための電流阻止層とする。

- ・GaAsは電気陰性度が高いので、該GaAs単結晶からなる残留基板部をオーミック接触形成用の接合合金化層の形成領域として利用し、素子の順方向電圧低減に寄与させる。なお、「主化合物半導体層」は、発光層部を含む化合物半導体の積層体

を、切欠き部底面を含む平面にて厚さ方向に二分したとき、発光層部を含んでいる部分のことをいう。

[0009] また、素子構成要素として成長用基板を利用する際に、結晶成長工程でのハンドリング等を考慮した基板の適性厚さは、素子構成要素として利用する際の適性厚さよりもはるかに大きいので、適当な厚さの残留基板部を形成するには、発光層部を成長後に成長用基板の厚みを大幅に減ずる必要がある。本発明では、基板本体部と異なる組成のIII-V族化合物半導体単結晶からなる分離用化合物半導体層をエピタキシャル成長し、該分離用化合物半導体層上にGaAs単結晶からなる副基板部をエピタキシャル成長することにより、成長用基板を複合成長用基板として形成する。そして、副基板部の第一主表面に例えばAlGaInPからなる発光層部を有した主化合物半導体層をエピタキシャル成長し、分離用化合物半導体層をなす化合物半導体とGaAsとの化学エッチングに対するエッチング速度の差を利用して、分離用化合物半導体層を化学エッチングにて除去することにより複合成長用基板部から副基板部を分離する。これにより、成長用基板の減厚工程を非常に簡単に行なうことができ、また、副基板部を分離用化合物半導体層上へのエピタキシャル層として構成することで、該副基板部に基づく残留基板部の厚さ精度を向上させることができる。さらには、分離用化合物半導体層と接する副基板部の第二主表面が、機械的な加工が関与しない化学エッチング面となるので、該副基板部に基づく残留基板部の結晶品質も高めることができる。

[0010] 複合成長用基板から副基板部を分離する具体的な方法には、次の2種がある。

(1) 分離用化合物半導体層をエッチストップ層とし、GaAsに対して選択エッチング性を有する第一エッチング液を用いて基板本体部をエッチング除去し、次いでエッチストップ層に対して選択エッチング性を有する第二エッチング液を用いてエッチストップ層をエッチング除去する。なお、基板本体部は、第二主表面側から平面研削等の機械研削により予め減厚しておき、その後エッチングするようにしてもよい。エッチストップ層としては例えばAlInP層を利用できる。

(2) 分離用化合物半導体層を剥離層として形成し、その剥離層を選択エッチングすることにより、複合成長用基板から副基板部を分離する。この方法は、副基板部の分

離(剥離)時に基板本体部が消失せず、次の発光素子の製造時に該基板本体部を再利用できる利点がある。

[0011] 基板本体部上に副基板部をエピタキシャル成長する工程としては、 $20\mu\text{m}$ 以下の比較的薄い副基板部を形成したい場合は周知のMOVPE (Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy) 法を利用できる。他方、 $20\mu\text{m}$ を超える厚い副基板部を形成したい場合は、ハイドライド気相成長法 (Hydride Vapor Phase Epitaxial Growth Method: HVPE) を用いると能率的である。HVPE法は、蒸気圧の低いGa(ガリウム)を塩化水素との反応により気化しやすいGaClに転換し、該GaClを媒介とする形でV族元素源ガスとGaとを反応させることにより、III-V族化合物半導体層の気相成長を行なう方法である。前述のMOVPE法による層成長速度は例えば約 $4\mu\text{m}/\text{時}$ 程度と小さく、厚く副基板部を形成したい場合は、能率の点で明らかに不利である。これに対して、HVPE法の層成長速度は例えば約 $9\mu\text{m}/\text{時}$ とMOVPE法の2倍以上にも及び、副基板部を非常に高能率にて形成できるほか、高価な有機金属を使用しないので、原材料費をMOVPE法よりもはるかに低く抑えることができる。また、MOVPE法では得られる化合物半導体層にHやCの残留量が多く、望む導電率が得られない場合があるが、HVPE法により成長した層は、MOVPE法と異なりCやHの残留が生じにくく、具体的にはCやHの残留濃度を $1\times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以下に留めることが極めて容易となる。HVPE法(ハイドライド気相成長法)により形成された透明厚膜半導体層のC及びH濃度は、例えば $7\times 10^{17}/\text{cm}^3$ 以下に留めることが可能であり、検出限界以下(例えば $1\times 10^{17}/\text{cm}^3$ 程度あるいはそれ以下)とすることも比較的容易である。

[0012] 副基板部は上記のごとく基板本体部上にエピタキシャル成長することにより形成されるものであるから、その主表面は、研磨等により形成された主表面と比較してダメージや結晶欠陥も少ない。従って、主化合物半導体層を副基板部の第一主表面に接してバッファ層を介することなくエピタキシャル成長しても、十分に高品質の発光層部を得ることができる。当然、バッファ層を形成しないので工程の簡略化を図ることができる。

[0013] 以下、本発明の発光素子の具体的な態様につき、個別に説明する。
(第一態様)

主化合物半導体層の第一主表面側に主光取出面が形成されるとともに、発光層部に発光駆動電圧を印加するための光取出側電極が、主化合物半導体層の第一主表面の一部を覆う形で形成され、

主化合物半導体層の第二主表面側に位置する残留基板部を一部切り欠く形で、該残留基板部の第二主表面に開口する切欠き部としての開口部が形成されるとともに、該開口部の周縁に残留基板部が残され、

開口部に、発光層部からの発光光束を反射させる反射部が設けられたことを特徴とする。

本発明において素子の「光取出面」とは、発光光束が外部に取出可能となっている素子表面のことであり、「主光取出面」とは、第一態様、第二態様及び第四態様においては主化合物半導体層の第一主表面に形成される光取出面のことを、また第三態様においては主化合物半導体層の第二主表面に形成される光取出面のことを、それぞれ意味する。また、上記主光取出面以外にも、主化合物半導体層に含まれる後述の透明厚膜半導体層あるいは補助電流拡散層の側面や、主化合物半導体層に形成される切欠き部の底面などが光取出面を構成可能である。

[0014] 第一態様の発光素子においては、残留基板部の一部を切り欠く形で該残留基板部の第二主表面に開口部を形成し、その開口部に、発光層部からの発光光束を反射させる反射部を設ける。成長用の副基板部の一部が残留基板部として発光層部への剛性付与の機能を果たせば、発光層部の第二主表面側にはシリコン基板などの導電性基板を補強目的で新たに貼り合わせる必要がなくなる。そして、反射部自体は形成された開口部に基板貼り合わせを前提とせずに配置すればよく、当然、貼り合わせ熱処理も不要なので、反射部が冶金的反応等により反射率を落とす心配もない。かくして、第一態様の発明の採用により、反射部をなす金属層を介してシリコン基板などの素子基板を発光層部に貼り合わせる工程が本質的に不要であり、しかも製造時のハンドリングに耐える十分な剛性も容易に確保できる発光素子を実現する。

[0015] 切欠き部を形成する際には、厚さが十分(例えば20nm以下)に小さければ、残留基板部の一部が切欠き部の底位置に残留していても差し支えない。しかし、反射率

を可及的に高める観点においては、GaAs残留基板部に由来した光吸収性の化合物半導体になるべく切欠き部の底に残留していないこと、つまり、切欠き部が残留基板部を厚さ方向に貫通して形成され、(残留基板部よりも光吸収性の小さい)主化合物半導体層の第二主表面を切欠き部に露出させることが望ましい。

- [0016] 第一態様の発明の発光素子は、光取出し効率を高めるために、次のように構成することが有効である。すなわち、開口部を、主光取出面の直下領域と重なる形で形成し、該開口部内にて反射部を、主光取出面の直下領域と重なる形で設ける。このようにすると、主光取出面の直下位置に反射部を望ませることができ、反射光束をより効率的に取り出すことができるので、発光素子全体のさらなる発光強度増加に寄与する。
- [0017] 一方、開口部を光取出側電極の直下領域と重なる形で形成し、該開口部内にて反射部を、該光取出側電極の直下領域と重なる形で設けることもできる。光取出側電極の直下領域に設けた反射部は、直上方向への反射光は光取出側電極に遮られるものの、電極外形線を見込む角度よりも大きな角度で斜めに反射される光は、光取出側電極外側の光取出領域から外部に取り出すことができ、反射光束のより効率的な取出しに寄与する。なお、主光取出面の直下領域に加え、さらに光取出側電極の直下領域にも反射部を設けることで反射光束の取出し効率が一層高められることは、いうまでもない。
- [0018] 素子の発光強度を高めるには、主光取出面に臨む発光層部領域に電流を一様に供給することが重要であり、特に、光取出側電極から離れた領域にも十分な電流を供給するには、発光層部と光取出側電極との間に電流拡散層を設けておくことが有効である。電流拡散層は、発光層部よりもドーパント濃度を高めた化合物半導体層として形成することができるほか、ITO(Indium Tin Oxide)などの導電性酸化物層として形成することもできる。
- [0019] 主光取出面は、該電流拡散層の第一主表面周縁に沿って光取出側電極を取り囲む形態で形成されることが好ましい。このようにすると、光取出側電極の周囲領域に電流を一様に供給することができ、光取出し効率向上に寄与する。この場合、発光層部への通電経路を構成する残留基板部を、該発光層部を含む主化合物半導体層の

第二主表面の周縁に沿って杵状に形成し、当該杵状の残留基板部の内側に前記の開口部を形成することができる。杵状の残留基板部を設けることで、光取出側電極を取り囲む主光取出面に電流を集中させることができ、発光層部を光取出しに有利な領域で優先的に発光させることができるので、光取出し効率を一層向上させることができる。

[0020] 上記の構成においては、光取出側電極の主化合物半導体層の第二主表面への投影外形線を、杵状の残留基板部の内側に位置させることができる。そして、開口部において、該杵状の残留基板部の内縁と光取出側電極の投影外形線との間に位置する領域を反射部にて覆うことができる。この構造によると、光取出側電極を取り囲む光取出領域と杵状の残留基板部との間に形成される一定幅の領域において、反射部による反射光束を効果的に取り出すことができ、光取出し効率の更なる向上に寄与する。

[0021] また、光取出側電極の直下領域においては、主化合物半導体層と反射部との接触抵抗を、主化合物半導体層と残留基板部との接触抵抗よりも高くすることができる。光取出側電極の直下領域では、発光層部をいくら光らせても発光光束の多くが光取出側電極に遮られ、外部に効率よく取り出すことができない。従って、光取出側電極の直下領域で通電電流を大きくすることは得策でない。そこで上記のように、開口部において、光取出側電極の直下領域に反射部を配置し、かつ、該反射部と主化合物半導体層との接触抵抗を、残留基板部と主化合物半導体層との接触抵抗よりも高くすることで、光取出側電極の直下領域に分配される通電電流を少なくすることができ、その分、主光取出面の直下に位置する残留基板部側の発光層部領域に電流を優先的に流すことができるので、光取出し効率を増加させることができる。

[0022] また、反射部は金属反射部とすることができる。この場合、光取出側電極の直下領域において該金属反射部を、開口部の底面をなす主化合物半導体部層に対し、接合金化層を介することなく、直接接して配置することができる。光取出側電極の直下領域から接合金化層を排除することで、主化合物半導体層と反射部との接触抵抗を効果的に高めることができ、発光光束が遮光されやすい光取出側電極直下領域での発光を抑制して光取出し効率の更なる向上に寄与する。なお、開口部が、主

光取出面の直下領域と重なる形で形成される場合は、金属反射部の全体に対して接合合金化層を排除する構成としてもよいが、主光取出面の直下領域には接合合金化層を分散形成するようにしてもよい。この場合、金属反射部は、開口部の底面をなす主化合物半導体部層に対し、主光取出面の直下領域においては接合合金化層を介して接することになり、主光取出面の直下領域において発光層部を、金属反射部を介して通電発光させることができる。これにより、光取出し効率がより向上する。

[0023] 以上の構成において反射部は、開口部内に充填された金属ペースト層とすることができる。この方法によると、Agペースト等の金属ペーストを塗布することにより開口部内に反射部を簡単に形成することができる。さらに、開口部の内側空間を、伝熱性の高い金属ペーストで充填することにより、発光層部の放熱を促進でき、通電による発光層部の温度上昇が抑制されるので、素子の長寿命化を図ることができる。この場合、残留基板部の第二主表面を、開口部内を充填する金属ペースト層の第二主表面とともに放熱用金属部材により覆うことができる。残留基板部にも放熱用金属部材を設けることにより、発光層部の放熱をさらに促進することができる。また、金属ペースト層を結合剤に兼用させることで、放熱用金属部材の発光層部(主化合物半導体層)への結合を、反射部を兼ねた金属ペースト層による貼り合わせにより簡単に行なうことができる。放熱用金属部材は、熱伝導率が高くなるべく高い金属で構成することが望ましく、具体的にはAl又はCuのいずれかを主成分(50質量%以上;100質量%含む)とする金属で構成するとよい。具体的には、Al金属板ないしCu金属板を用いることで、高性能の放熱用金属部材を安価に構成することができる。また、Cu-W合金は熱容量も高く、放熱性に特に優れた効果を発揮する。

[0024] また、金属ペースト層の外周縁部に一体化される形で、残留基板部の第二主表面を覆う導通経路ペースト層を形成し、残留基板部の第二主表面には、導通経路ペースト層との接触抵抗を減ずる接合合金化層を形成することができる。この構成によると、開口部が形成された主化合物半導体層の第二主表面側に金属ペースト層を、残留基板部の形成領域とともに一括して塗付すればよく、反射部を兼ねた金属ペースト層の形成をより簡便に行なうことができる(導通経路ペースト層は開口部を充填する

金属ペーストと同一の金属ペーストで形成される)。しかも、残留基板部の第二主表面には接合合金化層が形成され、該接合合金化層を覆うように金属ペースト層の導通経路ペースト層が形成されるので、残留基板部と放熱用金属部材との間で、接合合金化層と導通経路ペースト層とを介して容易に通電でき、素子の直列抵抗の低減にも寄与する。

[0025] 他方、反射部は、開口部の底面をなす主化合物半導体部層上に成膜された反射金属層とすることができる。この構成は、蒸着やスパッタリングなどの成膜工程が必要になるが、反射金属層の平滑性が高められるので、より反射率の高い反射部を得ることができる。

[0026] また、主化合物半導体層と残留基板部との間に、屈折率の相違する半導体膜を複数積層することにより、ブラッグ反射を利用して光を反射させるDBR (Distributed Bragg Reflector) 層を設けることもできる。DBR層は残留基板部上にエピタキシャル成長可能であり、主光取出面直下に位置する発光層部のうち、光吸収性を有する残留基板部直上に位置する領域であっても、反射光束を効果的に発生させることができ、ひいては光取出し効率をさらに高めることが可能となる。

[0027] (第二態様)

主化合物半導体層の第一主表面側に主光取出面が形成されるとともに、発光層部に発光駆動電圧を印加するための光取出側電極が、主化合物半導体層の第一主表面の一部を覆う形で形成され、

主化合物半導体層の第二主表面側に位置する残留基板部のうち、主光取出面の直下部分の少なくとも一部に切欠き部が形成され、かつ、光取出側電極の直下部分の少なくとも一部が残留基板部に含まれることを特徴とする。

[0028] 第二態様の発明の発光素子においては、残留基板部のうち、主光取出面の直下部分の少なくとも一部に切欠き部が形成され、かつ、光取出側電極の直下部分の少なくとも一部が残留基板部に含まれるように切り欠くようにした。光吸収部として作用するGaAs残留基板部が、主化合物半導体層の第二主表面のうち主光取出面の直下領域となる部分で切り欠かれることにより、該部分へ向かう発光光束も外部へ取り出すことが可能となり、光取出し効率を高めることができる。他方、光取出側電極の直

下領域には残留基板部の一部が残される。残留基板部は光吸収の作用を有するが、光取出側電極の直下領域にて仮に反射光を生じても光取出側電極に結局は遮られるので、この部分に残留基板部が残されることによる実害は少ない。そこで、残留基板部を光取出側電極の直下領域に残すことで、該残留基板部による光吸収の影響をそれほど顕著化することなく、発光層部への剛性付与の機能を担わせることができる。その結果、主化合物半導体層の第二主表面側に、シリコン基板などの導電性基板を補強目的で新たに貼り合わせる必要がなくなる。

[0029] 残留基板部と発光層部との間には、化合物半導体よりなる補助電流拡散層を設けておくことができる。これにより、切欠き部底面部への電流拡散効果が高められ、発光層部の該切欠き部に対応した領域への分配電流が増加するので、切欠き部底面から取り出される(ないし切欠き部底面にて反射される)発光光束をより増加することができる。なお、発光層部が、後述のAlGaInP等により、残留基板部に近い側から第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序で積層されたダブルヘテロ構造を有するものとして構成される場合、該補助電流拡散層は、第一導電型クラッド層よりも有効キャリア濃度を高めておくことで、電流拡散効果をより顕著なものとすることができる。また、補助電流拡散層を設ける代わりに、第一導電型クラッド層を第二導電型クラッド層よりも厚く形成することもできる。該構成では、第一導電型クラッド層の第二主表面側の部分(切欠き部底に近い側の表層部)が電流拡散層の役割を果たしていると見ることもできる。そして、該部分の有効キャリア濃度を残余の部分よりも高めておくことで、電流拡散効果をより顕著なものとすることができる。

[0030] この場合、残留基板部は、光取出側電極の直下部分を取り囲む形で、その周縁部に沿って上記切欠き部を形成しておけば、該切欠き部を利用して取り出される発光光束を、より増加させることができる。

[0031] 具体的には、発光層部からの発光光束を切欠き部から外部へ取り出し可能とすることができる。すなわち、残留基板部に形成された切欠き部の底面部は、発光層部の第二主表面側に補助的な光取出面を形成するので、ここから発光光束を直接取り出すことで、素子全体の光取出し効率を高めることができる。

[0032] この場合、残留基板部の第二主表面を、反射部材を兼ねた金属ステージ上に接着

するとともに、切欠き部から取り出された発光光束を該金属ステージの反射面にて反射させるように構成することができる。この構成によると、切欠き部の底面から取り出された発光光束を金属ステージの反射面にて反射させることで、発光層部の第一主表面側への発光光束を大幅に増加させることができ、発光素子の該側への指向性を高めることができる。

[0033] 一方、第二態様の発明の発光素子は、上記切欠き部に発光層部からの発光光束を反射させる金属反射部を設けることもできる。切欠き部に金属反射部を設けることで、該領域で本来残留基板部に吸収されるはずの発光光束を、金属反射部による反射光束の形で取り出すことができ、光取出し効率を高めることができる。該金属反射部自体は前述の切欠き部の底面に、基板貼り合わせを前提とせずに配置すればよく、当然、貼り合わせ熱処理も不要なので、金属反射部が冶金的反応等により反射率を落とす心配もない。かくして、発光層部が金属反射部で覆われた構造を有しつつも、金属反射部をなす金属層を介してシリコン基板などの素子基板を発光層部に貼り合わせる工程が本質的に不要な発光素子を実現する。

[0034] なお、切欠き部を光取出側電極の直下領域に入り込む形で形成し、該切欠き部内にて金属反射部を、光取出側電極の直下領域に入り込む形で形成することもできる。光取出側電極の直下領域に入り込む金属反射部は、直上方向への反射光は光取出側電極に遮られるものの、光取出側電極外形線を見込む角度よりも大きな角度で斜めに反射される光は、光取出側電極外側の光取出領域から外部に取り出すことができ、反射光束のより効率的な取り出しに寄与する。一方、残留基板部による光吸収の不利が極端に顕在化しない範囲であれば、残留基板部を主光取出面の直下領域に入り込む形で形成しても差し支えない。

[0035] 素子の発光強度を高めるには、主光取出面に臨む発光層部領域に電流を一様に供給することが重要であり、特に、光取出側電極から離れた領域にも十分な電流を供給するには、発光層部と光取出側電極との間に、第一態様と同様の電流拡散層を設けておくことが有効である。上記のような電流拡散層を設ける場合、主光取出面を該電流拡散層の第一主表面周縁に沿って光取出側電極を取り囲む形態で形成することができる。このようにすると、光取出側電極の周囲領域に電流を一様に供給する

ことができ、光取出し効率向上に寄与する。また、比較的厚い電流拡散層(例えば厚さ $20\mu\text{m}$ 以上 $200\mu\text{m}$ 以下)を形成しておくことで、該電流拡散層の周側面からの取出光束も高めることができ、光取出し効率のさらなる向上に寄与する。

[0036] また、切欠き部の底面に、金属反射部との接触抵抗を減ずるための接合合金化層を形成することができる。これにより、金属反射部を発光層部駆動用の裏面電極として機能させることができる。なお、接合合金化層は層形成用の金属材料薄膜を切欠き部底面に形成し、さらに合金化熱処理することにより形成できる。接合合金化層は切欠き部底面の全面に形成することもできるが、上記の合金化により、接合合金化層の反射率の低下が著しい場合は、切欠き部底面に接合合金化層を分散形成することが有効である。個々の接合合金化層の背景領域にて金属反射部が切欠き部の底面と接して配置されることで、該背景領域では良好な反射率を確保でき、接合合金化層を切欠き部の底面全面にベタ形成する場合よりも全体としての反射率を向上させることができる。

[0037] また、残留基板部の第二主表面を、前記金属反射部を含む一体の金属部にて覆うことができる。このようにすると、発光素子の第二主表面側(つまり素子の裏面側)を切欠き部の底面とともに金属部により一括して覆えばよく、工程の簡略化に寄与する。この場合、残留基板部の形成領域における素子厚さ方向の電気抵抗を、切欠き部の形成領域における素子厚さ方向の電気抵抗よりも高く調整しておくことが望ましい。光取出側電極の直下領域では、発光層部をいくら光らせても発光光束の多くが光取出側電極に遮られ、外部に効率よく取り出すことができない。従って、光取出側電極の直下領域で通電電流を大きくすることは得策でない。そこで上記のように構成すれば、光取出側電極の直下領域に分配される通電電流を少なくすることができる。その結果、主光取出面の直下に位置する切欠き部側の発光層部領域に電流を優先的に流すことができるので、光取出し効率を増加させることができる。

[0038] 上記のように素子の電気抵抗分布を調整するには、種々の方法が存在する。具体的には、残留基板部の第二主表面を、金属部との接触抵抗を減ずるための接合合金化層を非形成のものとして構成することができる(構成1)。また、残留基板部を、発光層部にてp-n接合を形成するp型層部とn型層部とのうち、該残留基板部に近い

側のものと逆の導電型を有するものとして構成することもできる(構成2)。さらには、残留基板部を、発光層部にてp-n接合を形成するp型層部とn型層部とのうち、該残留基板部に近い側のものと同一の導電型を有するものとし、かつ、発光層部と残留基板部との間に、残留基板部を被覆する形で、該残留基板部と逆の導電型を有する化合物半導体からなる反転層部を介挿することも可能である(構成3)。これらの構成により、発光光束が遮光されやすい光取出側電極直下領域での発光を抑制して光取出し効率のさらなる向上に寄与する。

[0039] 残留基板部の第二主表面は、Agペースト等の金属ペースト層を介して支持体に接着することができる。支持体は、例えば金属ステージや、該金属ステージとは別に設けられた後述の放熱用金属部材である。この場合、素子に形成された前述の切欠き部は、上記接着時において主化合物半導体層の周側面側に這い上がろうとする金属ペーストの吸収空間として利用できる。このようにすると、這い上がった金属ペーストにより主化合物半導体層に含まれる発光層部のp-n接合が短絡するなどの不具合を効果的に防止することができる。この場合、残留基板部の厚さを40 μ m以上に確保しておく、と、上記効果を一層顕著なものとすることができる。また、素子底面に金属ペースト層を塗布して金属ステージなどの支持体に接着する際に、素子底面と支持体表面との間に介在する金属ペースト層の厚さに応じて、光取出面側電極が形成される素子上面の高さ位置がばらつくことがあり、例えば光取出面側電極へのワイヤボンディングを自動で行う際に、一様なボンディング状態を得る上で不都合を生ずる場合もありうる。しかし、上記の構成によると、残留基板部の第二主表面を支持体表面に密着させ、切欠き部内に充填された金属ペースト層により接着を行なうようにすれば、残留基板部の厚さ制御により金属ペースト層の厚さを一様に揃えることができ、接着後の光取出面側電極の高さ方向位置のバラツキを軽減できる(該効果は、第一態様でも同様に発揮される)。

[0040] 以上の構成において金属反射部は、切欠き部の底面に成膜された金属膜とすることができる。この構成は、蒸着やスパッタリングなどの成膜工程が必要になるが、金属膜の平滑性が高いので、より反射率の高い金属反射部を得ることができる。なお、金属膜は、切欠き部の底面とともに残留基板部の第二主表面も一括して覆うものとすれ

ば、形成が容易である。この場合、残留基板部の第二主表面の面積が第一主表面の面積よりも小となるように、該残留基板部の周側面を傾斜面として形成し、該金属膜を、残留基板部の第二主表面及び周側面と、切欠き部底面とを一体的に覆うものとすることができる。このようにすると、蒸着やスパッタリング等の指向性の強い成膜法により金属膜を形成する場合、残留基板部の周側面を上記のような傾斜面としておくことで、該周側面にも金属膜を十分な厚さにて形成することができる。該構成は、残留基板部と切欠き部底面とを覆う金属膜を、面内方向の一体の給電路として利用する場合に、特に有効である。

[0041] 一方、金属反射部は切欠き部内に充填された金属ペースト層とすることもできる。この方法によると、金属ペーストを塗布することにより切欠き部内に金属反射部を簡単に形成することができる。さらに、切欠き部の内側空間を、伝熱性の高い金属ペーストで充填することにより、発光層部の放熱を促進でき、通電による発光層部の温度上昇が抑制されるので、素子の長寿命化を図ることができる。この場合、残留基板部の第二主表面を、切欠き部内を充填する金属ペースト層の第二主表面とともに第一態様と同様の放熱用金属部材により覆うことができる。放熱用金属部材を設けることにより発光層部の放熱をさらに促進することができる。

[0042] (第三態様)

残留基板部の一部を切り欠いて切欠き部を形成し、該切欠き部の底面を主光取出面とするとともに、残留基板部の第二主表面を覆うように、発光層部へ発光駆動電圧を印加するための光取出側電極を形成したことを特徴とする。

[0043] 特開2001-339100号公報及び日経エレクトロニクス2002年10月21日号124頁〜132頁においては、発光層部の基板に面しているのと反対側の主表面(第一主表面)を光取出面とし、基板が除去された第二主表面側は金属層の配置により反射面として利用する、というのが基本的な考え方である。この場合、反射面積をなるべく大きくしたほうが光取出し効率の向上には好都合であるから、基板を一部でも残せばその分だけ反射面積は減少し、しかもそれが光吸収性であることを考えれば、基板の一部を敢えて残すような思想が生まれるはずもなかった。

[0044] 本発明者らはそこで発想を転換し、発光層部を有する主化合物半導体層の、残留

基板部に面している第二主表面を主光取出面として利用する構成について検討した。光吸収部として作用する成長用のGaAs副基板部は、これを除去することで発光層部からの発光光束を取り出すことができる。そして、その副基板部の全てを除去するのではなく、副基板部の一部が主化合物半導体層の第一主表面上への残留基板部となるように、その一部のみを切り欠くようにすれば、形成される切欠き部の底面を主光取出面として利用することができ、該部分へ向かう発光光束も外部へ取り出すことが可能となるので、光取出し効率を高めることができる。他方、主化合物半導体層の第二主表面には、発光駆動用の光取出側電極を形成する必要がある。該光取出側電極の直下領域では、ここに向かう発光光束が存在しても電極に遮られるため、いずれにしろ直接光としては取り出すことができない。そこで、本発明者らは、残留基板部の第二主表面を該光取出側電極の形成領域として活用すれば、該残留基板部による光吸収作用を、光取出側電極による光遮断作用により埋没させることができ、その実害を大幅に軽減できることを見出して、第三態様の発明を完成させるに至ったのである。この結果、GaAsからなる残留基板部による、光吸収の影響がそれほど顕著化することがなくなり、GaAs特有の物性をむしろ積極利用して、機能的素子構成要素として有効活用するようなことも可能となる。

- [0045] 上記の光取出側電極には、通電用ワイヤを接合することができる。発光層部と光取出側電極との間に介在する化合物半導体層の厚さが小さい場合(特に、 $2\mu\text{m}$ 以下の場合)、通電用ワイヤを光取出側電極へ接合しようとする、接合による損傷の影響が発光層部に及びやすく、不良を生じやすい欠点がある。例えばワイヤの接合を、超音波溶接や、これにさらに熱を付加するサーモソニックボンディングにより行なう場合、ボンディングパッド直下の化合物半導体層には、超音波や加熱(さらには加圧)による衝撃応力が集中し、転位などの結晶欠陥が損傷として導入される。その損傷領域が発光層部に及んだ場合、具体的には次のような不具合につながる。
- (1)発光輝度の直接的な低下。結晶欠陥による非発光遷移過程の増加が原因として考えられる。
 - (2)損傷領域が発光層部に及ぶと素子ライフが低下することにつながる。転位の形成された発光層に通電を継続すると、転位に電流が集中して転位の増殖が起こりやす

くなり、発光輝度の経時的な劣化を引き起こす。

[0046] しかし、光取出側電極の直下に残留基板部が存在していれば、接合時に損傷領域が仮に生じても、その大半は残留基板部内部に留まり、発光層部や電流拡散層等はその影響が及びにくくなり、不良低減を図ることができる。この効果を顕著に達成するには、残留基板部の厚さを $3\mu\text{m}$ 以上確保しておくことが望ましい。

[0047] 次に、光取出側電極の直下領域では、発光層部をいくら光らせても発光光束の多くが光取出側電極に遮られ、外部に効率よく取り出すことができない。従って、光取出側電極の直下領域にて通電電流をなるべく少なくすることが望ましくなる。具体的には次のような構成を採用できる。すなわち、光取出側電極を、残留基板部を覆う主電極と、該主電極に導通するとともに切欠き部の底面のうち残留基板部の周囲に位置する一部領域を覆う副電極とを有するものとして形成する。また、接触抵抗低減用の接合合金化層を、副電極と接する切欠き部の底面領域に形成する。これにより、光取出側電極は残留基板部外の接合合金化層を介して化合物半導体層と導通する。そして、該構造を前提として、本第三態様の構成1では、残留基板部を、発光層部にてp-n接合を形成するp型層部とn型層部とのうち、該残留基板部に近い側のものと逆の導電型を有する電流阻止層として構成する。同じく構成2では、残留基板部を、発光層部にてp-n接合を形成するp型層部とn型層部とのうち、該残留基板部に近い側のものと同一の導電型を有するものとし、かつ、発光層部と残留基板部との間に、残留基板部を被覆する形で、該残留基板部と逆の導電型を有する化合物半導体からなる反転層部を介挿する。いずれの構成においても、残留基板部と発光層部との間には、素子に発光駆動電圧（つまり、発光層部をなすp-n接合部に対し順方向となる電圧）を印加したとき、逆バイアス状態となる反転p-n接合部が介在することになるので、発光光束が遮光されやすい光取出側電極直下領域への分配電流（すなわち発光）が抑制され、光取出し効率のさらなる向上に寄与する。

[0048] また、光取出側電極が、残留基板部を覆う主電極と、該主電極に導通するとともに切欠き部の底面のうち残留基板部の周囲に位置する一部領域を覆う副電極とを有し、接触抵抗低減用の接合合金化層が、主電極と接する残留基板部には形成されず、副電極と接する切欠き部の底面領域に形成される構成とすることもできる。光取出

側電極に上記のような副電極を設け、光取出側電極と主化合物半導体層との電気的な接続を、残留基板部外の切欠き部底面に形成された接合合金化層との間でのみ確保することで、発光駆動時における残留基板部での電流密度を効果的に低減できる(この場合、残留基板部と主化合物半導体層との間に前述のような反転p-n接合部が特に形成されていなくともよい)。また、残留基板部を覆う主電極は面積を比較的大きくできるので、通電用ワイヤの接続も容易である。主電極は、残留基板部の周側面を覆う部分にて副電極と接続され、通電用ワイヤから接合合金化層への給電部としての役割を果たす。通電用ワイヤの接合時に、残留基板部が損傷吸収効果をもたらすことは既に説明した通りである。

[0049] 逆に、残留基板部の第二主表面には、光取出側電極との接触抵抗を減ずるための接合合金化層を形成することもできる。GaAsはバンドギャップエネルギーが小さく耐酸化性にも優れるので、他のIII-V族化合物半導体(例えば発光層部を形成するAlGaInPや、電流拡散層を形成するGaP、AlGaAs、GaAsPあるいはGaInPなど)と比較して、金属電極との間で格段にオーミックコンタクトを取りやすい利点がある。従って、該GaAsからなる残留基板部を接合合金化層の形成領域として利用することで、素子の光取出側電極との接触抵抗を効果的に低減でき、ひいては素子の順方向電圧を低減できるようになる。

[0050] 次に、第三態様の発光素子においては、発光層部の第一主表面側に、発光層部からの発光光束のピーク波長に相当する光量子エネルギーよりも大きなバンドギャップエネルギーを有するIII-V族化合物半導体からなる厚さ10 μ m以上の透明厚膜半導体層を設けることができる。このような透明厚膜半導体層を設けることで、薄い発光層部に対し面内方向により均一に発光駆動電流を供給でき、該透明厚膜半導体層の側面からの取出光束も増加するので、素子全体としての光取出し効率を高めることができる。また、透明厚膜半導体層が素子全体の補強効果を高め、素子製造時のハンドリングがより容易になる。さらに、該透明厚膜半導体層の側で発光素子を、金属ペースト層を介して金属ステージ上に接着する場合、接着時に金属ペースト層がつぶれ変形して主化合物半導体層の周側面側に這い上がることがある。この這い上がった金属ペーストが発光層部のp-n接合部側面に達すると、p-n接

合部が短絡するなどの不具合を生ずることがある。しかし、上記のように、この接着側に設ける透明厚膜半導体層の厚さを $40\mu\text{m}$ 以上(上限値に制限はないが、例えば $200\mu\text{m}$ 以下である)に確保すれば、仮に金属ペーストが這い上がってもp-n接合部にまで達する確率は小さくなり、上記短絡等の不具合を効果的に防止できる。

[0051] また、主化合物半導体層は、残留基板部と発光層部との間に配置されるとともに、透明厚膜半導体層よりも薄い化合物半導体層よりなる補助電流拡散層を有するものとして構成できる。これにより、切欠き部底面部への電流拡散効果が高められ、発光層部の該切欠き部に対応した領域(つまり、主光取出面)への分配電流が増加するので、切欠き部底面から取り出される発光光束をより増加することができる。また、光取出側電極に通電用ワイヤを接合する場合は、この補助電流拡散層は前述の残留基板部とともに、接合による損傷の影響が発光層部へ及ぶことを抑制するクッション層としての機能も果たしうる。

[0052] ただし、上記構成では、発光層部の第二主表面側に設ける補助電流拡散の厚さは小さくなるので、電流拡散効果は透明厚膜半導体層よりも劣る。そこで、これを補うために光取出側電極を、残留基板部の第二主表面及び周側面とを覆う主電極と、切欠き部の底面をなす補助電流拡散層の第二主表面の一部領域を覆うとともに、主電極の外周縁から延出する線状の副電極とを有するものとして構成することが有効である。上記のような副電極を設けることで、駆動電圧を印加した際に、主光取出面内の電界分布の偏りを軽減することができ、主光取出面全体に、より一様に電圧印加することができるので、電流拡散効果を高めることができる。また、主電極の直下に位置する残留基板部を前述のごとく電流阻止層として機能させれば、主電極の直下に向かう電流を遮断でき、主光取出面をなす主電極の背景領域への電流分配量を増加できるので、光取出し効率を高めることができる。この場合、前述のごとく、残留基板部の第二主表面の面積が第一主表面の面積よりも小となるように、該残留基板部の周側面を傾斜面として形成し、光取出側電極をなす主電極と副電極を一体の金属膜として形成すれば、主電極と副電極との電氣的導通をより確実なものとすることができる。

[0053] 発光層部が、残留基板部に近い側から第一導電型クラッド層、活性層及び第二導

電型クラッド層がこの順序で積層されたダブルヘテロ構造を有し、かつ、発光層部上に上記のような透明厚膜半導体層を設ける場合、主化合物半導体層の第二主表面側から少なくとも活性層の第一主表面までの区間を、第二主表面の一部領域において切り欠くことにより電極用切欠き部を形成し、その電極用切欠き部の底面に異極性電極(光取出側電極とは異極性となる側の電極)を配置することもできる(以下、同面側電極取出構造ともいう)。この構成は、主化合物半導体の第二主表面側の一部が異極性電極の形成スペースとして消費される難点はあるが、発光駆動用の電極を同一主表面側に形成できる利点を生ずる。

[0054] 例えば、III族窒化物系の青色発光素子は、III族窒化物のエピタキシャル成長用の基板としてサファイア基板が使用されるが、サファイア基板は絶縁体であり、しかもエッチング等による除去も困難なため、発光層部の下に該サファイア基板を残した形で素子化されるケースが多い。この場合、発光層部とサファイア基板との間に導電性の電極取出層を形成し、発光層部の一部を切り欠いて電極取出層を露出させ、ここに異極性電極を形成することが必須となる。こうした窒化物系青色発光素子のように、製造工程上、同面側電極取出構造を取らざるを得ない発光素子と、第三態様の発光素子とを組み合わせることで一体の発光モジュールを構成したい場合に、第三態様の発光素子に取って上記同面側電極取出構造を採用すれば、該別種の発光素子の光取出側電極又は異極性電極のうち、接地側となる電極を共通結線することができ、ワイヤボンディング等のアセンブリ工程を簡略化できる利点がある。また、RGBフルカラー発光素子モジュールのように、この種の発光素子を3以上組み合わせることでモジュール化する場合、それらの素子の接地側の電極電位は全て等しくなるため、これら電極をワイヤにより順次連結し、その末端に位置する電極のみ、素子チップを接着するステージ側のカソード端子に接続する構成が可能となり、ステージ側のカソード端子の面積縮小、ひいてはモジュールの小型化にも寄与する。

[0055] さらに、第三態様の発光素子の場合、発光層部が結合される基板が絶縁性基板でなく、導電性の透明厚膜半導体層であるからこれを電極取出層として活用できる。透明厚膜半導体層は層厚が大きい(10 μ m以上)、サファイア基板を用いたIII族窒化物発光素子の電極取出層のような薄いエピタキシャル層よりもシート抵抗の低減

が容易であり、素子の順方向電圧の増加も招きにくい。さらに、サファイア基板上の発光層部は、例えば素子チップを接着する金属製のステージを使用する場合、該ステージからサファイア基板によって絶縁分離されるため、素子チップの浮遊容量が増大し、発光層部の帯電により実効的な発光駆動電圧が低下したり、あるいはスパークにより素子寿命が低下したりするなどの不具合を生ずることもある。しかし、基板に相当する部分が上記のように導電性の透明厚膜半導体層にて構成されていれば、該透明厚膜半導体層が静電気の放電路として機能するので、発光層部の帯電が大幅に軽減され、上記の不具合を解消することができる。この場合、複数個連結する同面側電極取出構造の発光素子の一部が、上記のような絶縁基板付き素子とされていても、残りの素子の一部が第三態様の上記構成の発光素子にて構成されていれば、接地共通結線化により、絶縁基板付きの素子に帯電する静電気も、第三態様の素子の透明厚膜半導体層を介して放電できる利点もある。

[0056] (第四態様)

次に、本発明の第四態様の発光素子は、

発光層部を有した主化合物半導体層が副基板部の第一主表面上にエピタキシャル成長され、残留基板部の一部に切欠き部が形成され、残留基板部の第二主表面を覆うように、発光層部へ発光駆動電圧を印加するための第一電極部が形成される一方、

発光層部が、残留基板部に近い側から第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序で積層されたダブルヘテロ構造を有してなり、発光層部の第一主表面側には、発光層部からの発光光束のピーク波長に相当する光量子エネルギーよりも大きなバンドギャップエネルギーを有するIII-V族化合物半導体からなる透明半導体層が形成されてなり、さらに、主化合物半導体層の第二主表面側から少なくとも活性層の第一主表面までの区間を、第二主表面の一部領域において切り欠くことにより電極用切欠き部が形成され、その電極用切欠き部の底面に第一電極部とは異極性となる第二電極部が配置されるとともに、透明半導体層の第一主表面が主光取出面とされることを特徴とする。

[0057] この構成は、同面側電極取出構造を採用した第三態様の発光素子の上下を反転

し、透明半導体層の第一主表面側に電極を形成せず、該第一主表面側から発光光束を主に取り出すようにしたものに相当する。同面側電極取出構造では、2つの電極を同一面側に形成する必要があるので、電極形成スペースも限られたものとなる。本発明の第四態様によると、そのうちの第一電極部を残留基板部の第二主表面に形成する。GaAsはバンドギャップエネルギーが小さく耐酸化性にも優れるので、他のIII-V族化合物半導体(例えば発光層部を形成するAlGaInPや、電流拡散層を形成するGaP、AlGaAs、GaAsPあるいはGaInPなど)と比較して、金属電極との間で格段にオーミックコンタクトを取りやすい利点がある。従って、該GaAsからなる残留基板部を第一電極部の形成領域として利用することで、素子の第一電極部との接触抵抗を効果的に低減でき、素子の順方向電圧を低減できるようになる。そして、電極形成されない透明半導体層の第一主表面が主光取出面となるので、該主光取出面の面積が拡大され、光取出し効率が大幅に向上する。さらに、主化合物半導体層の第二主表面側に全ての電極が形成されるので、例えば素子チップを基板上に面実装する構成も容易となり、素子チップのアセンブリ工程の簡略化にも寄与する。

図面の簡単な説明

- [0058] [図1]第一態様の発明の発光素子の第一実施形態を示す断面模式図。
[図2]図1の発光素子の製造方法の一例を示す工程説明図。
[図3]図2に続く工程説明図。
[図4]発光素子チップの切断線の設定例を示す模式図。
[図5]補助残留基板部の第一の形成形態を示す模式図。
[図6]補助残留基板部の第二の形成形態を示す模式図。
[図7]第一態様の発明の発光素子の第二実施形態を示す断面模式図。
[図8]第一態様の発明の発光素子の第三実施形態を示す断面模式図。
[図9]第一態様の発明の発光素子の第四実施形態を示す断面模式図。
[図10]第一態様の発明の発光素子の第五実施形態を示す断面模式図。
[図11]第二態様の実施形態Aの発光素子を示す断面模式図。
[図12]図11の発光素子の製造方法の一例を示す工程説明図。
[図13]図11の発光素子の第一変形例を示す断面模式図。

[図14]第二態様の実施形態Bの発光素子を示す断面模式図。

[図15]図14の発光素子の第一変形例を示す断面模式図。

[図16]図14の発光素子の製造方法の一例を示す工程説明図。

[図17]図16に続く工程説明図。

[図18]金属ペーストの這い上がりによる不具合発生状況を説明する図。

[図19]図18の不具合を切欠き部により防止する様子を説明する図。

[図20]図14の発光素子の第二変形例を示す断面模式図。

[図21]図14の発光素子の第三変形例を示す断面模式図。

[図22]図14の発光素子の第四変形例を示す断面模式図。

[図23]図14の発光素子の第五変形例を示す断面模式図。

[図24]図23の発光素子の残留基板部の形成工程の一例を示す説明図。

[図25]図14の発光素子の第六変形例を示す断面模式図。

[図26]本発明の第三態様の発光素子を示す断面模式図。

[図27]図26の発光素子の製造方法の一例を示す工程説明図。

[図28]図26の発光素子の第一変形例を示す断面模式図。

[図29]図26の発光素子の第二変形例を示す断面模式図。

[図30]図26の発光素子の第三変形例を示す断面模式図。

[図31]図26の発光素子の第四変形例を示す断面模式図。

[図32]図26の発光素子の第五変形例の要部を示す断面模式図及び平面図。

[図33]図26の発光素子の第六変形例を示す断面模式図。

[図34]図26の発光素子の第七変形例を示す断面模式図。

[図35]図26の発光素子の第八変形例を示す断面模式図。

[図36]図33～図35の発光素子の応用例を示す断面模式図。

[図37]第四態様の発光素子の第一例を示す断面模式図。

[図38]第四態様の発光素子の第二例を示す断面模式図。

[図39]第四態様の発光素子の第三例を示す断面模式図。

発明を実施するための最良の形態

[0059] (第一態様)

以下、本発明の第一態様の実施形態を添付の図面を用いて説明する。

図1は第一態様の一例である発光素子100を模式的に示すものである。発光素子100は、発光層部24を有した主化合物半導体層40が残留基板部1の第一主表面上に形成されている。そして、主化合物半導体層40の第一主表面側に主光取出面EAが形成されるとともに、発光層部24に発光駆動電圧を印加するための光取出側電極9が主化合物半導体層40の第一主表面の一部を覆うように形成されている。そして、残留基板部1を一部切り欠く形で該残留基板部1の第二主表面に開口する切り欠き部としての開口部1jが形成され、該開口部1jの周縁に残された残留基板部1が発光層部24への剛性を付与している。そして、開口部1jの内部に、発光層部24からの発光光束を反射させる反射部17bが設けられ、その反射光束RBが発光層部24からの直接光束DBと重畳されて主光取出面EAから取り出される。

[0060] 発光層部24は、ノンドープ $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})\text{In}_y\text{P}$ (ただし、 $0 \leq x \leq 0.55$, $0.45 \leq y \leq 0.55$) 混晶からなる活性層5を、第二導電型クラッド層、本実施形態ではp型 $(\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z})\text{In}_y\text{P}$ (ただし $x < z \leq 1$) からなるp型クラッド層6と、前記第二導電型クラッド層とは異なる第一導電型クラッド層、本実施形態ではn型 $(\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z})\text{In}_y\text{P}$ (ただし $x < z \leq 1$) からなるn型クラッド層4とにより挟んだ構造を有し、活性層5の組成に応じて、発光波長を、緑色から赤色領域(発光波長(ピーク発光波長)が550nm以上670nm以下)にて調整できる。発光素子100においては、光取出側電極9側にp型AlGaInPクラッド層6が配置されており、残留基板部1側にn型AlGaInPクラッド層4が配置されている。従って、通電極性は光取出側電極9が正である。なお、ここでいう「ノンドープ」とは、「ドーパントの積極添加を行わない」との意味であり、通常の製造工程上、不可避免的に混入するドーパント成分の含有(例えば $10^{13} \sim 10^{16} / \text{cm}^3$ 程度を上限とする)をも排除するものではない。また、残留基板部1はGaAs単結晶からなる。

[0061] また、主化合物半導体層40においては、発光層部24の第一主表面上に、GaP(あるいはGaAsPやAlGaAsでもよい)よりなる電流拡散層20が形成され、該電流拡散層20の第一主表面の略中央に前述の光取出側電極9(例えばAu電極)が形成されている。電流拡散層20は、光取出側電極9との間に接合合金化層9aを介してオーミック接触が形成できる程度に有効キャリア濃度(従って、p型ドーパント濃度)が高めら

れている(例えばp型クラッド層6と同等以上であって $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下)。電流拡散層20の第一主表面における、光取出側電極9の周囲の領域が主光取出面EAをなす。電流拡散層20は、例えば $10 \mu\text{m}$ 以上 $200 \mu\text{m}$ 以下(好ましくは $40 \mu\text{m}$ 以上 $200 \mu\text{m}$ 以下)の厚膜に形成されることで、層側面からの取出光束も増加させ、発光素子全体の輝度(積分球輝度)を高める役割も担う。また、電流拡散層20は、発光層部24からの発光光束のピーク波長に相当する光量子エネルギーよりも大きなバンドギャップエネルギーを有するIII-V族化合物半導体にて構成することで、発光光束に対する吸収も抑制されている。なお、光取出側電極9と電流拡散層20との間には、両者の接触抵抗を減ずるための接合合金化層9aが、例えばAuBe合金等を用いて形成されている。他方、残留基板部1側においては、開口部1jが該残留基板部1を厚さ方向に貫通して形成され、主化合物半導体層40の第二主表面、ここでは発光層部24(n型クラッド層4)の第二主表面が開口部1jに露出している。

[0062] 上記の開口部1jは、光取出側電極9の直下領域SAと重なる形で形成されている。本実施形態では、光取出側電極9の直下領域SAが開口部1jの内側に包含され、直下領域SAの全体が開口部1jの領域と重なっている。そして、該直下領域SAにおいて、主化合物半導体層40と反射部17bとの接触抵抗が、主化合物半導体層40と残留基板部1との接触抵抗よりも高く設定されている。

[0063] 本実施形態においては、反射部17bは金属反射部とされている(以下、金属反射部17bともいう)。そして、光取出側電極9の直下領域SAにおいて該金属反射部17bが、開口部1jの底面をなす化合物半導体部(ここでは、発光層部24のn型クラッド層4)に対し、接合合金化層21を介することなく、直接接して配置されている。光取出側電極9の直下領域SAから接合合金化層21を排除することで、主化合物半導体層40と反射部17bとの接触抵抗が高められている。図1において反射部17bは、開口部1j内に充填された金属ペースト層(以下、金属ペースト層17bともいう)である。そして、残留基板部1の第二主表面は、開口部1j内を充填する金属ペースト層17bの第二主表面とともに放熱用金属部材19(例えばCu板ないしAl板)により覆われている。金属ペースト層17bは、放熱用金属部材19を発光層部24(主化合物半導体層40)に結合する結合層と、反射部とに兼用されるものであり、Ag等の金属粉末を結合用

の樹脂及び溶剤からなるビヒクル中に分散させた金属ペーストを塗付後、乾燥させることにより形成されるものである。

[0064] 金属ペースト層17bの外周縁部には、これと一体化される形で、残留基板部1の第二主表面を覆う導通経路ペースト層(金属ペーストからなる)17aが形成されている。そして、残留基板部1の第二主表面には、導通経路ペースト層17aとの接触抵抗を減ずる接合合金化層16が形成されている。接合合金化層16は、Au又はAgを主成分として(50質量%以上)、これに、接触先となる半導体の種別及び導電型に応じ、オーミック接触を取るための合金成分を適量配合した金属を半導体表面上に膜形成した後、合金化熱処理(いわゆるシンター処理)を施すことにより形成されたものである。本実施形態では、n型GaAsからなる残留基板部1上に、AuGeNi合金(例えばGe:15質量%、Ni:10質量%、残部Au)を用いた接合合金化層16が形成されている。

[0065] また、本実施形態において開口部1jは、主光取出面EAの直下領域との重なりPA(以下、単に直下領域PAという)を有しており、該開口部1j内に金属反射部(金属ペースト層)17bが、主光取出面EAの直下領域PAと重なる形で設けられている。前述のごとく、発光層部24と光取出側電極9との間には電流拡散層20が設けられており、主光取出面EAは、該電流拡散層20の第一主表面周縁に沿って光取出側電極9を取り囲む形態で形成されている。そして、発光層部24への通電経路を構成する残留基板部1は、該発光層部24を含む主化合物半導体層40の第二主表面の周縁に沿って枠状に形成され、当該枠状の残留基板部1の内側に開口部1jが形成されている。また、光取出側電極9の主化合物半導体層40の第二主表面への投影外形線KLは、枠状の残留基板部1の内側に位置するように、光取出側電極9と開口部1jとの形成位置及び領域寸法が定められている。そして、開口部1jにおいて、該枠状の残留基板部1の内縁と光取出側電極9の投影外形線KLとの間に位置する領域PAが、金属反射部(金属ペースト層)17bにて覆われている。なお、図5及び図6に示すように、開口部1jの内側には、枠状の残留基板部1をさらに補強するための、補助残留基板部1wを設けることができる。本実施形態では、補助残留基板部1wを、開口部1jを複数個に仕切る形で直線状に形成している。図5は、補助残留基板部1wを、

残留基板部1の対辺間をつなぐ十字状に形成した例であり、図6は、同じく残留基板部1の対角間をつなぐX字状に形成した例である。

[0066] 開口部1j内においては、接合合金化層を完全に排除する構成としてもよいし、主光取出面EAの直下領域PAには接合合金化層21を分散形成するようにしてもよい(接合合金化層16と材質は同じである)。この場合、金属反射部17bは、開口部1jの底面をなす主化合物半導体部40に対し、主光取出面EAの直下領域PAにおいては接合合金化層21を介して接することになり、主光取出面EAの直下領域PAにおいて発光層部24を、金属反射部17bを介して通電発光させることができる。他方、残留基板部1の第二主表面に形成される接合合金化層16は、光反射にあまり寄与しないため、導通経路ペースト層17aとの接触抵抗低減を優先して、残留基板部1の第二主表面の全面を覆うように形成される。他方、開口部1j内における主光取出面EAの直下領域PAに接合合金化層21を形成する場合は、接合合金化層21の反射率が比較的低いいため、該領域での反射光束を増加させる効果と、接合合金化層21との接触抵抗を低減する効果とのバランスを考慮し、領域PAの全面積に対する接合合金化層21の形成面積の比率を1%以上25%以下に調整することが望ましい。

[0067] 以下、図1の発光素子100の製造方法について説明する。

まず、図2の工程1に示すように、n型GaAs単結晶からなる基板本体部10mの第一主表面にGaAsからなる図示しないバッファ層をエピタキシャル成長し、次に分離用化合物半導体層としてのエッチストップ層10k(例えばAlInPよりなる)をエピタキシャル成長し、さらに該エッチストップ層10k上に、n型GaAs単結晶からなる副基板部10eをエピタキシャル成長して、発光層部24を成長するための複合成長用基板10を得る。副基板部10eはMOVPE法又はHVPE法により成長する。そして、工程2に示すように、その複合成長用基板10の副基板部10eの第一主表面に接して、バッファ層を形成することなく、発光層部24として、n型AlGaInPクラッド層4、AlGaInP活性層(ノンドープ)5、及びp型AlGaInPクラッド層6を、この順序にて周知のMOVPE法により、エピタキシャル成長させる。続いて工程3に進み、電流拡散層20(厚さ:10 μ m以上200 μ m以下(例えば100 μ m))を、例えばハイドライド気相成長法あるいはMOVPE法を用いてエピタキシャル成長する。特に、GaPないしGaAsPからなる電

流拡散層20は、HVPE法により良質のものを高速成長しやすい利点がある。

[0068] そして、工程4に進み、複合成長用基板10から副基板部10eを分離して、主化合物半導体層40の第二主表面上への残留基板部1となす処理を行なう。本実施形態では該処理を、GaAsに対して選択エッチング性を有する第一エッチング液（例えばアンモニア／過酸化水素混合液）を用いて基板本体部10mをエッチング除去することにより行なう。その後、図3の工程5に進み、AlInPに対して選択エッチング性を有する第二エッチング液（例えば塩酸：Al酸化層除去用にフッ酸を添加してもよい）を用いてAlInPエッチストップ層10kをエッチング除去する。なお、分離用化合物半導体層として、エッチストップ層10kに代えてAlAs等からなる剥離層10kを形成し、例えば10%フッ酸水溶液からなるエッチング液に浸漬して該剥離層10kを選択エッチングすることにより、複合成長用基板10から副基板部10eを分離して残留基板部1となす工程を採用してもよい。

[0069] 工程6に進み、残留基板部1上の周縁に沿って枠状に、AuGeNi合金からなる接触金属層16'を形成する。また、電流拡散層20の第一主表面には、光取出側電極9を形成する。接触金属層16'は、開口部1jを形成するためのエッチングマスクの役割を兼用しており、蒸着あるいはスパッタリングにより周知のフォトリソグラフィ技術を用いて形成される。ただし、接触金属層16'の表面を、感光性樹脂からなるエッチングレジスト層にて覆うようにしてもよい。次いで、工程7に示すように、GaAsからなる残留基板部1の該接触金属層16'の内側に露出する部分をエッチングすることにより開口部1jを形成する。該開口部1jの形成により、残留基板部1は枠状となり、発光層部24は露出面18を開口部1j内に形成する。そして、350℃以上500℃以下の温度域で合金化熱処理を行なうことにより、接触金属層16'を残留基板部1と合金化して接触合金化層16とし、発光素子チップ30cが得られる。

[0070] ここで、開口部1jの内側（工程7で生ずる露出面18）において、光取出側電極9の直下領域SAには接合金合金化層21を形成しない（図1も参照）。また、枠状の残留基板部1の直上領域と、光取出側電極9の直下領域SAとの間に挟まれた領域PAには、図1に示すように、接合金合金化層21を例えば散点状に分散形成することができる。

[0071] 図2の複合成長用基板10上には、上記開口部1jを有する発光素子チップ30cが、

図4に示すように複数個マトリックス状に配列した形で一括形成される。このとき、残留基板部1は、隣接した発光素子チップ30c同士のものが一体化されているので、その幅方向中央位置に設定された切断線CLに沿って切断することにより、個々の発光素子チップ30cに分離される。そして、分離後の発光素子チップ30cの第二主表面側には、図1に示すように、開口部1jが充填され、かつ残留基板部1の第二主表面が覆われるように金属ペーストが塗付され、金属ペースト層17bと導通経路ペースト層17aとが一括形成される。そして、図3の工程8に示すように、それら金属ペースト層17bと導通経路ペースト層17aとを介して放熱用金属部材19を貼り合わせれば、図1の発光素子100が得られる。

[0072] 上記発光素子100の複合成長用基板10は、光吸収性化合物半導体であるGaAsにて要部が構成されるが、これを発光層部24の成長後に全て除去するのではなく副基板部10eは残留基板部1として残すようにし、その一部を切り欠く形で開口部1jを形成し、その開口部1j内を、反射部をなす金属ペースト層17bにて充填する。そして、開口部1jの周縁に残された残留基板部1は、発光層部24への剛性付与の機能を果たす。従って、特開2001-339100号公報や日経エレクトロニクス2002年10月21日号124頁〜132頁のように、発光層部24の第二主表面側にはシリコン基板などの導電性基板を補強目的で新たに貼り合わせる必要がなくなる。

[0073] また、本実施形態では、光取出側電極9を取り囲む形態で主光取出面EAを形成し、残留基板部1を主光取出面EAに対応した枠状に形成しているので、光取出側電極9を取り囲む主光取出面EAの直下部分に電流を集中させることができ、発光層部24を光取出しに有利な領域で優先的に発光させることができる。また、光取出側電極9と枠状の残留基板部1との間に形成される一定幅の領域PAに金属ペースト層17bを臨ませてあり、該領域PAが存在するので反射光束RBが光取出側電極9により遮られることが効果的に防止される。さらに、光取出側電極9の直下領域SAからは、接合合金化層が排除されており、主化合物半導体層40と反射部17bとの接触抵抗が高められるので、発光光束が遮光されやすい光取出側電極9の直下領域SAでの発光が抑制され、光取出し効率の更なる向上に寄与している。さらに、残留基板部1の第二主表面は、金属ペースト層17bを介して放熱用金属部材19により覆われてお

り、通電による発光層部24の温度上昇が抑制される。

[0074] 以下、第一態様の発光素子の変形例について説明する(図1の発光素子との共通部分には同一の符号を付与して詳細な説明は省略する)。まず、図9は、接合合金化層21を光取出側電極9の該直下領域SAにも配置した例である。光取出側電極9の直下での発光光束は、光取出側電極9にて一部遮られるが、直下領域SAに存在する反射部(金属ペースト層17b)での斜め方向への反射光を大きくできる場合(例えば電流拡散層20をある程度厚く形成した場合など)には、素子全体としての光取出し効率を向上できる場合がある。他方、図10のように、開口部1j内の領域に接合合金化層を全く形成しない構成も可能である。この場合は、残留基板部1の領域が主たる電流通路を構成するが、電流拡散層20がある程度厚ければ、発光層部24において残留基板部1の内側、つまり開口部1jの領域(特に、主光取出面EAの直下領域PA)への回りこみ電流の発生も期待できる。接合合金化層の表面は反射率が多少低下するが、図10のように、前記接合合金化層が主光取出面EAの直下領域PAから省略されていれば、該領域での反射効率をより高めることができ、素子全体としての光取出し効率を向上できる場合がある。

[0075] 次に、図7の発光素子200においては、反射部が、開口部1jの底面をなす化合物半導体部上、ここでは発光層部24(n型クラッド層4)上に成膜された反射金属層31(例えば、Au、AgあるいはAlのいずれかを主成分とするものである)とされている。なお、残留基板部1の第二主表面側は、接合合金化層16を介して裏面電極32にて覆われているが、これを反射金属層31と同材質(例えばAu)とすることで、裏面電極32と反射金属層31とを一括形成できる利点がある。一方、図8の発光素子300のように、発光層部24と残留基板部1との間に、屈折率の相違する半導体膜を複数積層することにより、ブラッグ反射を利用して光を反射させるDBR層30が設けられている(DBR層30が設けられている以外は、図7と同じ構成である)。DBR層30は残留基板部1上にエピタキシャル成長可能である。なお、DBR層30は、図8では残留基板部1の領域にのみ選択的に形成されているが、開口部1jの底面領域にまでこれを延長して形成することもできる。

[0076] (第二態様)

(実施形態A)

図11は本発明の第二態様の一例である発光素子1100を模式的に示すものである。なお、図1の発光素子100との共通部分も多いので、以下、その相違点につき説明する。従って、以下に説明する相違点以外の部分は、図1の発光素子100と同一の構成を有しているので、第一態様の説明にて代用するものとし、ここでは詳細な説明を繰り返さない。また、共通の構成要素には共通の符号を付与している。発光素子1100は、発光層部24を有した主化合物半導体層40が副基板部10e(図12参照)の第一主表面上にエピタキシャル成長されている。そして、主化合物半導体層40の第一主表面側に主光取出面EAが形成されるとともに、発光層部24に発光駆動電圧を印加するための光取出側電極9が、主化合物半導体層40の第一主表面の一部(具体的には、主光取出面EAの残余領域)を覆うように形成されている。

[0077] 主化合物半導体層40においては、発光層部24の第一主表面上に、第一態様と同様の電流拡散層20が形成され、該電流拡散層20の第一主表面の略中央に前述の光取出側電極9(例えばAu電極)が形成されている。他方、残留基板部1側においては、主光取出面EAの直下部分に切欠き部1jが該残留基板部1を厚さ方向に貫通して形成され、主化合物半導体層40の第二主表面、ここでは補助電流拡散層91の第二主表面が切欠き部1jに露出している。残留基板部1は光取出側電極9の直下部分に形成され、本実施形態では、主化合物半導体層40の該残留基板部1と接する部分(本実施形態ではn型クラッド層4)と同一導電型(すなわちn型)を有するものとされている。

[0078] 本実施形態Aにおいては、発光層部24からの発光光束が、該切欠き部1jからも取り出し可能とされている。具体的には、残留基板部1の第二主表面が、反射部材を兼ねた金属ステージ52上に接着され、切欠き部1jから取り出された発光光束を該金属ステージ52の反射面RPにて反射させるようにしている。残留基板部1の第二主表面には、その全面に裏面電極部をなす接合合金化層16が形成されている。接合合金化層16は、本実施形態ではAuGeNi合金(例えばGe:15質量%、Ni:10質量%、残部Au)を用いて形成されている。

[0079] この接合合金化層16において残留基板部1は、金属ペースト層117を介して金属

ステージ52の反射面RP上に接着されている。これにより、発光層部24は残留基板部1を導通路とする形で、金属ペースト層117を介して金属ステージ52に電氣的に接続される。一方、光取出側電極9は導体金具51にAuワイヤ等で構成されたボンディングワイヤ9wを介して電氣的に接続される。発光層部24には、金属ステージ52及び導体金具51に一体化された図示しない駆動端子部を介して発光駆動電圧が印加される。金属ペースト層117は、第一態様と同様Agペースト等により構成される。

[0080] また、残留基板部1と発光層部24との間には、AlGaInP、AlGaAs、AlInP、GaInP等の化合物半導体よりなる補助電流拡散層91が形成されている。補助電流拡散層91の厚さは例えば $0.5\mu\text{m}$ 以上 $30\mu\text{m}$ 以下(望ましくは $1\mu\text{m}$ 以上 $15\mu\text{m}$ 以下)であり、発光層部24の、これに近い側のクラッド層(本実施形態ではn型クラッド層4)よりも有効キャリア濃度(従って、n型ドーパント濃度)が高くされ、面内の電流拡散効果が高められている。なお、n型クラッド層4(第一導電型クラッド層)の厚さをp型クラッド層6(第二導電型クラッド層)よりも厚くし、該n型クラッド層4の第二主表面側の表層部に補助電流拡散層としての機能を担わせることも可能である。

[0081] 上記の構成によると、切欠き部1jの底面から取り出された発光光束を金属ステージ52の反射面RPにて反射させることで、その反射光束RBにより発光層部24の第一主表面側への発光光束を大幅に増加させることができる。残留基板部1と発光層部24との間に設けられた補助電流拡散層91は、切欠き部1jの底面部への電流拡散効果を高め、発光層部24の該切欠き部1jに対応した領域への分配電流を増加させる。これにより、切欠き部1jの底面から取り出される発光光束をより増加することができる。

[0082] 以下、図11の発光素子1100の製造方法について説明する。

図12の工程1〜工程4では、副基板部10eの第一主表面に補助電流拡散層91を成長し、続いて発光層部24を成長させる点を除き、図2及び図3の工程1〜工程5と同じである。なお、電流拡散層20は、GaP(あるいはGaAsPやAlGaAsでもよい)からなる基板を発光層部24に貼り合わせることで形成してもよい。この場合は、発光層部24に続く形でAlInP、GaInPまたはAlGaAsからなる結合層7を形成しておき、この結合層7にGaPないしGaAsP、AlGaAsからなる基板を貼り合わせるようにすれば、該貼り合わせをより確実に行なうことができる。HVPE法を用いて電流拡散層20

をエピタキシャル成長する場合は、結合層7は特に不要である(この点、第一態様(図2、図3)においても同様である)。

[0083] 次に、工程5では、残留基板部1の第二主表面の周縁部分を、周知のフォトリソグラフィ技術を用いてエッチングにより除去し、切欠き部1jを形成する。なお、エッチングの施された残留基板部1の第二主表面にAu等にて構成された電極部を形成することも可能であるが、この場合、残留基板部1の第二主表面に該電極部を先に形成し、これを切欠き部1jを形成するためのエッチングマスクに兼用することもできる。そして、工程6に示すように、該残留基板部1の第二主表面に、接合合金化層を形成するための金属材料層を蒸着等により形成し、350℃以上500℃以下の温度域で合金化熱処理を行なうことにより、接合合金化層16とする。また、電流拡散層20の第一主表面に接合合金化層9aを同様に形成する(接合合金化層16と合金化熱処理を兼用することができる)。接合合金化層9aは図11に示すごとく、Au等を蒸着することにより光取出側電極9にて覆う。その後、個々の発光素子チップに分離し、図11に示すごとく、分離後の発光素子チップの残留基板部1の第二主表面側を金属ペースト層117により金属ステージ52に接着し、さらに光取出側電極9をボンディングワイヤ9wにより導体金具51と接続すれば発光素子1100が完成する。

[0084] 上記発光素子1100の製造に用いられる複合成長用基板10は、光吸収性化合物半導体であるGaAsにて要部が構成されるが、これを発光層部24の成長後に全て除去するのではなく、厚さを減じて残留基板部1とした後に、その一部切り欠く形で、光取出部として機能する切欠き部1jを形成する。そして、切欠き部1j形成に関与しない部分は、発光層部24への剛性付与の機能を果たす。従って、特開2001-339100号公報や日経エレクトロニクス2002年10月21日号124頁〜132頁のように、発光層部24の第二主表面側にはシリコン基板などの導電性基板を補強目的で新たに貼り合わせる必要がなくなる。

[0085] 図11の実施形態では、残留基板部1の第二主表面に接合合金化層16を全面形成していたが、図13に示すように、補助電流拡散層91の第二主表面(すなわち、切欠き部1jの底面)にて、残留基板部1の周囲に接合合金化層16rを形成し、これを残留基板部1とともに金属ペースト層117により一括して覆う構成とすることもできる。こ

のようにすると、残留基板部1と金属ペースト層117との接触抵抗が上昇し、光取出側電極9の直下に位置する残留基板部1の中央領域の電流密度を下げるができる。その結果、発光層部24への駆動電流は、残留基板部1を迂回して主光取出面E A側に優先的に流れ、発光層部24を光取出しに有利な領域で優先的に発光させることができる。なお、残留基板部1と接合合金化層16rとをAu層等の金属層で覆い、この金属層を介して金属ペースト層117により金属ステージ52への接着を行なってもよい。

[0086] (実施形態B)

図14は、本発明の第二態様の別例である発光素子1200を示す。なお、図11の発光素子1100(実施形態A)との共通部分も多いので、以下、その相違点につき説明する。従って、以下に説明する相違点以外の部分は、図11の発光素子1100と同一の構成を有しているので、実施形態Aの説明にて代用するものとし、ここでは詳細な説明を繰り返さない。また、共通の構成要素には共通の符号を付与している。

[0087] 発光素子1200の、図11の発光素子1100との最も大きな相違点は、切欠き部1jの内部に、発光層部24からの発光光束を反射させる金属反射部17が設けられ、その反射光束RBを、発光層部24からの直接光束DBと重畳させて主光取出面EAから取り出すようにした点である。本実施形態においては、残留基板部1の第二主表面が、切欠き部1jの底面とともに金属反射部17に一括して覆われている。残留基板部1の形成領域における素子厚さ方向の電気抵抗は、切欠き部1jの形成領域における素子厚さ方向の電気抵抗よりも高く調整されてなる。具体的には、切欠き部1jの底面に、金属反射部17との接触抵抗を減ずるための接合合金化層21を分散形成する一方、残留基板部1の第二主表面は接合合金化層を非形成としている。これにより、発光光束が遮光されやすい光取出側電極9の直下領域での発光が抑制されている。接合合金化層21は、図11の発光素子1100の接合合金化層16と同様に形成されるものであり、本実施形態では、n型クラッド層4の第二主表面上に、AuGeNi合金(例えばGe:15質量%、Ni:10質量%、残部Au)を用いて形成されている。接合合金化層21は反射率が比較的低いため、該領域での反射光束を増加させる効果と、接合合金化層21との接触抵抗を低減する効果とのバランスを考慮し、領域EAの全面積

に対する接合合金化層21の形成面積の比率を1%以上25%以下に調整することが望ましい。

[0088] 図14において金属反射部17は、切欠き部1j内に充填された金属ペースト層(以下、金属ペースト層17ともいう)である。そして、残留基板部1の第二主表面は、切欠き部1j内を充填する金属ペースト層17の第二主表面とともに放熱用金属部材19(例えばCu板ないしAl板)により覆われている。金属ペースト層17は、図11の発光素子1100と同様に形成されるものであり、具体的には、残留基板部1の第二主表面と切欠き部1jの底面とを接着面として、該接着面に金属ペースト層17を介して放熱用金属部材19の第一主表面が接着されている。図14では図示していないが、この放熱用金属部材19が図11と同様の金属ステージに接着される。また、光取出側電極9も図11と同様、ボンディングワイヤを介して導体金具に接続される。なお、放熱用金属部材19を省略し、残留基板部1の第二主表面側を金属ステージに直接接着してもよい。

[0089] 上記の切欠き部1jは、主光取出面EAの直下領域と重なりを有する。本実施形態では、主光取出面EAの直下領域が切欠き部1jの領域と略一致するように形成されているが、図15に示すように、切欠き部1jを光取出側電極9の直下領域SAに入り込む形で形成し、該切欠き部1j内にて金属反射部17を光取出側電極9の直下領域に入り込む形で形成することで、反射光束RBのより効率的な取出しを図ることができる。他方、光吸収が過度に大きくならない範囲であれば、残留基板部1を主光取出面EAの直下領域に多少入り込ませる構成も可能である。

[0090] 以下、図14の発光素子1200の製造方法について説明する。

まず、図16の工程1から工程4及び図17の工程5までは、副基板部10e上に発光層部24を、補助電流拡散層を介挿することなく直接成長する点を除いて、図12の工程1から工程5までと同じである。次に、図17の工程6に進み、切欠き部1jの底面に、接合合金化層を形成するための金属材料層を蒸着等により分散形成し、350℃以上500℃以下の温度域で合金化熱処理を行なうことにより、接合合金化層21とする。なお、残留基板部1の第二主表面には接合合金化層21を形成しない。また、金属反射膜31を形成する場合は、その後の工程7にて行なう。以降は、図3と同様に、個々の発光素子チップに分離され、分離後の発光素子チップの第二主表面側には、

切欠き部1jが充填され、かつ残留基板部1の第二主表面が覆われるように金属ペースト層17が塗付形成される。そして、工程8に示すように、該金属ペースト層17を介して放熱用金属部材19を接着すれば、図14の発光素子1200が得られる。

[0091] 切欠き部を有さない従来型の発光素子の場合、図18に示すように、この接着により金属ペースト層17がつぶれ変形して主化合物半導体層の周側面側に這い上がり、発光層部24のp-n接合部(本実施形態では、活性層5を挟んだn型クラッド層4とp型クラッド層6とを有するダブルヘテロ構造)が這い上がった金属ペースト17cにより短絡するなどの不具合を生じやすい。しかし、上記のごとく切欠き部1jが形成されていると、図19に示すように、切欠き部1jを這い上がろうとする金属ペースト17の吸収空間として利用でき、p-n接合部の短絡防止を図ることができる。また、ここでも、残留基板部1の第二主表面を支持体表面に密着させ、切欠き部1j内に充填された金属ペースト層により接着を行なうことで、残留基板部1の厚さ制御により金属ペースト層17の厚さを一様に揃えることができる。この効果は第一態様においても同様に発揮される。

[0092] なお、図では残留基板部1の厚さを電流拡散層20よりも薄く描いているが、これは説明の便宜を図るためであって、残留基板部1と電流拡散層20の厚さの大小関係を限定するものではない。特に、上記の金属ペースト17の這い上がりによる不具合を解消するためには、残留基板部1の厚さを40 μ m以上確保することが有効である(この場合、図16の工程4に示す基板厚さを減少させる工程は不要となる場合がある)。なお、放熱用金属部材19を用いる場合、放熱用金属部材用の大判の金属板に分離前のウェーハを金属ペースト17を用いて接着し、その後ウェーハを金属板とともに素子チップへ分離することもできるが、この場合は個々の素子チップへの金属ペースト17の這い上がりはほとんど問題とならない。従って、残留基板部1の厚さを40 μ m未満に設定することも十分に可能である。

[0093] 上記発光素子1200は、残留基板部1に切欠き部1jを形成し、その切欠き部1j内を、金属反射部をなす金属ペースト層17にて充填する。本実施形態では、残留基板部1の第二主表面に接合合金化層を形成していないので、光取出側電極9を取り囲む主光取出面EAに電流を集中させることができ、発光層部24を光取出しに有利な傾

域で優先的に発光させることができる。そして、この領域には金属反射部17が配置されており、反射光束RBにより光取出し効率が向上する。さらに、発光層部24の第二主表面側には、金属ペースト層17を介して放熱用金属部材19により覆われており、通電による発光層部24の温度上昇が抑制される。

[0094] 以下、図14の発光素子1200のさらに別の実施形態について説明する(図14の発光素子との共通部分には同一の符号を付与して詳細な説明は省略する)。図14の発光素子1200の構成では、残留基板部1の第二主表面に接合合金化層を形成しないことで、残留基板部1の領域における素子の厚さ方向抵抗を、切欠き部1jの領域における素子の厚さ方向抵抗よりも高くし、光吸収性の残留基板部1の直上部を電流迂回させるようにしている。しかし、同様の効果は、以下のような別の構成によっても達成することができる。まず、図20の発光素子1300においては、残留基板部1が、発光層部24にてp-n接合を形成するp型層部とn型層部とのうち、該残留基板部1に近い側のもの(すなわち、n型クラッド層4)と逆の導電型(つまり、p型)を有する反転層部1rとして構成している。この場合、副基板部としてp型のGaAsエピタキシャル層を用いればよい。また、図21の発光素子1400においては、図14の発光素子1200と同様に残留基板部1を、発光層部24にてp-n接合を形成するp型層部とn型層部とのうち、該残留基板部に近い側のもの(すなわち、n型クラッド層4)、と同一の導電型(つまりn型)を有するものとしている。そして、発光層部24と残留基板部1との間には、残留基板部1を選択被覆する形で、該残留基板部1と逆の導電型(つまりp型)を有する化合物半導体からなる反転層部93を介挿している。

[0095] 次に、図22の発光素子1500においては、金属反射部が、切欠き部1jの底面をなす化合物半導体部上、ここでは発光層部24(n型クラッド層4)上に成膜された金属膜31(例えば、Au、AgあるいはAlのいずれかを主成分とするものである)とされている。なお、金属膜31は、残留基板部1の第二主表面側も一括して覆うものとされている。そして、該金属膜31が金属ペースト層17を介して放熱用金属部材19に接合されている(この場合、金属ペースト層17は金属反射部を構成するものではなくなる)。この金属膜31は、図17の工程7に示すように、接合合金化層21の合金化熱処理後に形成される。

- [0096] 図23の発光素子1600は、図22の発光素子1500をさらに改良したもので、残留基板部1の第二主表面の面積が第一主表面の面積よりも小となるように、該残留基板部1の周側面1sを傾斜面として形成している。そして、金属膜31は、残留基板部1の第二主表面及び周側面1sと、切欠き部1jの底面とを一体的に覆うものとされている。蒸着やスパッタリング等の指向性の強い成膜法により金属膜31を形成する場合、残留基板部1の周側面1sを上記のような傾斜面としておくことで、該周側面1sにも金属膜を十分な厚さにて形成することができる。
- [0097] 周側面1sが傾斜面となった残留基板部1は、図17の工程5のエッチングを、次のように実施することで得られる。まず、図24の工程1に示すように、GaAsからなる残留基板部1と発光層部24との間には、AlInPよりなるエッチストップ層1pを形成しておく。次に、工程2に示すように、残留基板部1の第二主表面(面方位を(100)とする)のうち、残す領域をエッチングレジストMSKにより覆い、残余の部分を、アンモニア過酸化水素水溶液をエッチング液としてメサエッチングする。残留基板部1の周側面は、上記エッチング液の異方性エッチング効果により傾斜面となる。そして、工程3に示すように、塩酸をエッチング液としてエッチストップ層1pを除去し、さらにエッチングレジストMSKを除去すればよい。
- [0098] 次に、図25の発光素子1700は、発光層部24と残留基板部1との間に、屈折率の相違する半導体膜を複数積層することにより、ブラッグ反射を利用して光を反射させるDBR層30が設けられている(DBR層30が設けられている以外は、図15と同じ構成である)。DBR層30により、主光取出面EA直下に位置する発光層部24のうち、光吸収性の残留基板部1直上に位置する領域であっても、反射光束RBを効果的に発生させることができる。この場合、残留基板部1を主光取出面EAの直下領域に多少入り込む構成であっても、DBR層30の形成により光吸収による発光光束の損失はほとんど生じない。なお、図11の発光素子1100においても、残留基板部1と発光層部24との間(例えば、補助電流拡散層91と残留基板部1との間である)にDBR層を同様に形成することが可能である。また、図11及び図15のいずれの構造を基本とする場合においても、上記のDBR層を、切欠き部1jの底面領域まで延長して形成することが可能であり、切欠き部1jの領域における発光光束の反射効果を高めることができる。

る。

[0099] (第三態様)

以下、本発明の第三態様の実施形態を添付の図面を用いて説明する。図26は本発明の第三態様の一例である発光素子2100を模式的に示すものである。なお、図1の発光素子100との共通部分も多いので、以下、その相違点につき説明する。従って、以下に説明する相違点以外の部分は、図1の発光素子100と同一の構成を有しているので、第一態様の説明にて代用するものとし、ここでは詳細な説明を繰り返さない。また、共通の構成要素には共通の符号を付与している。

[0100] 図26は本発明の第三態様の一例である発光素子2100を模式的に示すものである。発光素子2100において発光層部24を有した主化合物半導体層40は、副基板部10e(図27の工程2参照)の第一主表面上にエピタキシャル成長されたものである。そして、該残留基板部1の周縁部が切り欠かれることにより切欠き部1jが形成される(図27の工程5参照)。図27の工程2は層成長時の上下関係で描いており、図26はこれと上下反転している(従って、第一主表面は、図26中にて層や基板の下面として表れる)。切欠き部1jの底面は主光取出面EAを形成し、発光層部24に発光駆動電圧を印加するための光取出側電極9が残留基板部1の第二主表面を覆うように形成されている。図26において、透明半導体層90、結合層7、発光層部24及び補助電流拡散層91は主化合物半導体層40に属し、残留基板部1は主化合物半導体層40に属さない。

[0101] 発光素子2100においては、透明半導体層90側にp型AlGaInPクラッド層6が配置されており、残留基板部1側にn型AlGaInPクラッド層4が配置されている。残留基板部1と光取出側電極9との間には、両者の接触抵抗を減ずるための接合合金化層9aが形成されている。接合合金化層9aは、ここではAuGeNi合金(例えばGe:15質量%、Ni:10質量%、残部Au)を用いて形成している。

[0102] 主化合物半導体層40においては、発光層部24の第一主表面上に、GaP(あるいはGaAsPやAlGaAsでもよい:ここではp型)よりなる透明半導体層90が形成されている。透明半導体層90は接合合金化層21によりオーミック接触が形成できる程度に有効キャリア濃度(従って、p型ドーパント濃度)が高められている(例えばp型クラッド

層6と同等以上であって $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下)。透明半導体層90は、例えば $10 \mu\text{m}$ 以上 $200 \mu\text{m}$ 以下(好ましくは $40 \mu\text{m}$ 以上 $200 \mu\text{m}$ 以下)の厚膜に形成されることで、層側面からの取出光束も増加させ、発光素子全体の輝度(積分球輝度)を高める役割も担う。また、発光層部24からの発光光束のピーク波長に相当する光量子エネルギーよりも大きなバンドギャップエネルギーを有するIII-V族化合物半導体にて構成することで、発光光束に対する吸収も抑制されている。

[0103] 透明半導体層90の第一主表面側は、金属ステージ52上にAgペースト等からなる金属ペースト層17を介して接着され、該金属ペースト層17が反射部を形成している。また、透明半導体層90の第一主表面には、光取出側電極9側と同様に接合合金化層21が分散形成され、該接合合金化層21が金属ペースト層17により覆われている。これにより、発光層部24は、金属ペースト層17を介して金属ステージ52に電氣的に接続される。一方、光取出側電極9は、導体金具51にAuワイヤ等で構成された通電用ワイヤ9wを介して電氣的に接続される。発光層部24には、金属ステージ52及び導体金具51に一体化された図示しない駆動端子部を介して発光駆動電圧が印加される。

[0104] 本実施形態において接合合金化層21は、p型層とのコンタクトを取るためにAuBe合金を用いて形成されている。接合合金化層21は反射率が比較的低いため、該領域での反射光束を増加させる効果と、接合合金化層21との接触抵抗を低減する効果とのバランスを考慮し、透明半導体層90の第一主表面の全面積に対する接合合金化層21の形成面積の比率を1%以上25%以下に調整することが望ましい。なお、接合合金化層21をAu層、Ag層あるいはAl層などの高反射率の金属反射層31で覆い、該金属反射層31を、金属ペースト層17を介して金属ステージ52に接着してもよい。

[0105] なお、透明半導体層90の側で発光素子を、金属ペースト層17を介して金属ステージ52に接着する場合、図26に一部拡大して示すように、その接着時に金属ペースト層17がつぶれ変形して主化合物半導体層の周側面側に這い上がることがある。しかし、本実施形態では、この接着側に設ける透明半導体層90の厚さを $40 \mu\text{m}$ 以上 $200 \mu\text{m}$ 以下と厚くしてあり、仮に金属ペーストが這い上がっても発光層部(p-n接合部

)24にまで達する確率は小さくなり、p-n接合の短絡等を効果的に防止できる。

[0106] また、残留基板部1と発光層部24との間には、AlGaInP、AlGaAs、AlInP、GaInP等の化合物半導体よりなる補助電流拡散層91が形成されている。補助電流拡散層91の厚さは例えば0.5 μ m以上30 μ m以下(望ましくは1 μ m以上15 μ m以下)であり、発光層部24の、これに近い側のクラッド層(本実施形態ではn型クラッド層4)よりも有効キャリア濃度(従って、n型ドーパント濃度)が高くされ、面内の電流拡散効果が高められている。なお、n型クラッド層4(第一導電型クラッド層)の厚さをp型クラッド層6(第二導電型クラッド層)よりも厚くし、該n型クラッド層4の第二主表面側の表層部に補助電流拡散層としての機能を担わせることも可能である。

[0107] 上記の構成によると、光吸収部として作用する残留基板部1の一部のみが切り欠かれている。これにより、形成される切欠き部1jの底面を主光取出面EAとして利用することができ、該部分へ向かう発光光束を外部へ直接取り出すことが可能となるので、光取出し効率を大幅に高めることができる。他方、残留基板部1の第二主表面は光取出側電極9の形成領域として活用され、光取出側電極9(図26)による光遮断作用により、残留基板部1による光吸収作用が不具合として顕在化しなくなっている。また、バンドギャップエネルギーが小さく耐酸化性にも優れるGaAsからなる残留基板部1の第二主表面に光取出側電極9用の接合合金化層9aを形成することで、より良好なオーミックコンタクトが実現し、素子の順方向電圧低減に寄与している。

[0108] 以下、図26の発光素子2100の製造方法について説明する。

図27の工程1ー工程5までは、電流拡散層20を透明半導体層90と読み替えれば、図12の工程1ー工程5と全く同じである。工程6(工程5までと上下を反転して描いている)では、該残留基板部1の第二主表面に、接合合金化層を形成するための金属材料層を蒸着等により形成し、350℃以上500℃以下の温度域で合金化熱処理を行なうことにより、接合合金化層9aとする。また、透明半導体層90の第一主表面に接合合金化層21を同様に分散形成する(接合合金化層9aと合金化熱処理を兼用することができる)。接合合金化層9aは図26に示すごとく、Au等を蒸着することにより光取出側電極9にて覆う。その後、図3と同様に個々の発光素子チップに分離され、図26に示すごとく、分離後の発光素子チップの透明半導体層90の第二主表面(

接合合金化層21が形成されている)を金属ペースト層17により金属ステージ52に接着し、さらに光取出側電極9をボンディングワイヤ9wにより導体金具51と接続すれば発光素子2100が完成する。

[0109] 上記発光素子2100は、残留基板部1を一部切り欠く形で、主光取出面EAとして機能する切欠き部1jを形成する。そして、切欠き部1j形成に関与しない部分は、ウェーハの剛性向上機能も果たしうる。

[0110] 以下、第三態様の実施形態の発明の発光素子の種々の変形例について説明する。なお、図26の発光素子2100との共通部分も多いので、以下、その相違点につき説明する。従って、以下に説明する相違点以外の部分は、図26の発光素子2100と同一の構成を有しているので、ここでは詳細な説明を繰り返さない。また、共通の構成要素には共通の符号を付与する。

[0111] 図28の発光素子2300には、発光層部24と残留基板部1との間に、屈折率の相違する半導体膜を複数積層することにより、ブラッグ反射を利用して光を反射させるDBR層30が設けられている。DBR層30は、光吸収性の残留基板部1の直下に位置する領域であっても、発光光束DBを下向きに反射することができるので、発光光束DBが残留基板部1に吸収されて損失する不具合を解消することができる。反射された発光光束DBは残留基板部等に吸収されない限り、直接あるいは素子の別部分(例えば金属ペースト層17あるいは反射金属層31)での反射を利用して素子外へ取り出すことが可能になる。

[0112] 図29の発光素子2400では、補助電流拡散層91の第二主表面(すなわち、切欠き部1jの底面)にて、残留基板部1の周囲に接合合金化層9aを形成し、これを残留基板部1とともに光取出側電極9により一括して覆う構成とすることもできる。この場合、光取出側電極9は、残留基板部1の第二主表面及び周側面とを覆う主電極9mと、切欠き部1jの底面のうち残留基板部1の周側面に連なる一部領域を覆う副電極9bとを有したものとして形成される。接触抵抗低減用の接合合金化層9aは、主電極9mと接する残留基板部1には形成されず、副電極9bと接する切欠き部1jの底面領域には形成されることとなる。従って、発光駆動電流は残留基板部1を迂回して主光取出面に優先的に流れ、光取出し効率が向上する。

- [0113] なお、透明半導体層90あるいは副電極9bにより十分な電流拡散効果が得られる場合は、補助電流拡散層91を省略することも可能である。この場合、切欠き部1jの底面は発光層部24の第二主表面が形成する。また、副電極9bを設ける場合は、接合金化層9aとともに発光層部24上に形成することとなる。
- [0114] また、残留基板部1の第二主表面の面積が第一主表面の面積よりも小となるように、該残留基板部1の周側面1sが傾斜面として形成されている。光取出側電極9をなす主電極9m(すなわち、残留基板部1の第二主表面及び周側面1sとを覆う部分)と副電極9b(切欠き部1jの底面を覆う部分)とは、一体の金属膜として形成される。このような形状の残留基板部1は、図24と同様の工程により製造可能である。
- [0115] 図30の発光素子2500においては、図29の発光素子2400の残留基板部1を、発光層部24にてp-n接合を形成するp型層部とn型層部とのうち、該残留基板部1に近い側のもの(すなわち、n型クラッド層4)と逆の導電型(つまり、p型)を有する反転層部1rとして構成している。この場合、光吸収性化合物半導体基板としてp型の副基板部を用いればよい。また、図31の発光素子2600においては、図29の発光素子2400と同様に残留基板部1を、発光層部24にてp-n接合を形成するp型層部とn型層部とのうち、該残留基板部に近い側のもの(すなわち、n型クラッド層4)、と同一の導電型(つまりn型)を有するものとしている。そして、発光層部24と残留基板部1との間には、残留基板部1を選択被覆する形で、該残留基板部1と逆の導電型(つまりp型)を有する化合物半導体からなる反転層部93を介挿している。これにより、残留基板部1による電流遮断層としての機能を一層高めることができる。
- [0116] 図30及び図31の構成においては、図29と同様に、接合金化層9aを、副電極9bと接する切欠き部1jの底面領域にのみ形成してもよいが、接合金化層9aが残留基板部1をも覆う構成になっていても、反転p-n接合部の介在により電流遮断効果は問題なく達成できる。そこで、これを利用すれば、接合金化層9aは、副電極9b及び主電極9mを有した光取出側電極9と形状一致させた形で、副電極9bと接する切欠き部1jの底面領域とともに残留基板部1も一括して覆うものとして形成することが可能となる(図では、残留基板部1を覆う部分を符号9kにより表している)。このように同一形状で重なり合う接合金化層9a(9k)と光取出側電極9とは、形状のパターンニン

グを1回のフォトリソグラフィにて行なうことができ、工程の簡略化に寄与する。

[0117] 図32の発光素子2700では光取出側電極9を、残留基板部1の第二主表面及び周側面を覆う主電極9mと、切欠き部1jの底面をなす補助電流拡散層91の第二主表面の一部領域を覆うとともに、主電極9mの外周縁から延出する線状の副電極9bとを有するものとして構成している。ここでは、線状の副電極9bが、主電極9mを中心として主光取出面EA上に放射状に形成されている。副電極9bを上記のように形成することで、駆動電圧を印加した際に、主光取出面内の電界分布の偏りを軽減することができ、主光取出面EA全体に、より一様に電圧印加することができ、ひいては電流拡散効果を高めることができる。

[0118] 本実施形態では接合合金化層9aも副電極9bと重なる線状に形成しており、主電極9mの直下に位置する残留基板部1には接合合金化層を形成していない。従って、残留基板部1はここでも電流阻止層として機能し、主電極9mの直下に向かう電流を遮断できる。その結果、主光取出面EAをなす主電極9mの背景領域（つまり、切欠き部1j）への電流分配量を増加でき、光取出し効率を高めることができる。なお、残留基板部1の第二主表面の面積が第一主表面の面積よりも小となるように、該残留基板部1の周側面が傾斜面1sとして形成され、光取出側電極9をなす主電極9mと副電極9bとが一体の金属膜として形成されている。

[0119] なお、上記の実施形態においては、光取出側電極9とは異極性となる側の電極部（接合合金化層21あるいは金属反射膜）を、いずれも透明半導体層90の第一主表面側に形成していたが、主化合物半導体層40の第二主表面側から少なくとも活性層5の第一主表面までの区間を、前記第二主表面の一部領域において切り欠くことにより電極用切欠き部を形成し、その電極用切欠き部の底面に上記異極性となる側の電極を配置した、前述の同面側電極取出構造としてもよい。以下、その具体例について説明する。

[0120] 図33の発光素子2800は、図26の発光素子2100を同面側電極取出構造とした例である（発光素子2100と同一の符号を有して特に説明のない要素は、発光素子2100と同一の構成であり、発光素子2100の詳細説明にて代用する）。主化合物半導体層40の補助電流拡散層91から発光層部24（及び結合層7）までが、第二主

表面側で一部領域にて周知のフォトリソグラフィ工程により切り欠かれ、電極用切欠き部JKが形成されている。そして、該電極用切欠き部JKの底面をなす透明半導体層90の第二主表面領域に、接合合金化層21及び異極性電極332が形成されている。なお、透明半導体層90の第二主表面を含む表層部が、電流拡散効果を高めるために、残余の領域よりも有効キャリア濃度が高められた高濃度ドーピング層90hとされている。また、光取出側電極9及び異極性電極332には、通電用ワイヤ9w及び32wがそれぞれ接合されている。なお、切欠き部JKの底面は、クラッド層6により形成してもよい。

[0121] 図34の発光素子2900は、図28の発光素子2300を同様に同面側電極取出構造とした例である。さらに、図35の発光素子3000は、図34の発光素子2900から補助電流拡散層91を省略した構成に相当する。

[0122] 図36は、赤色(R)発光素子チップ163、緑色(G)発光素子チップ161及び青色(B)発光素子チップ162を全て同面側電極取出構造とし、これらを組み合わせて構成したRGBフルカラー発光素子モジュール150の一例を示すものである。各発光素子チップ161〜163の光取出側電極9は全てカソード側(接地側:負極性の電源が使える場合は、アノード側を接地側としてもよい)であり、電極電位は全て等しくなるため、これら電極9をワイヤ9wにより順次連結し、その末端に位置する電極のみ、素子チップを接着するステージ153側のカソード端子(光取出側電極9がアノードである場合はアノード端子)152に接続している。端子152にはワイヤを1本接続すればよいだけなので、面積が比較的小さくて済む(ただし、各光取出側電極9から個別にワイヤ9wを端子152に接続する態様を排除するものではない)。他方、異極性電極332はアノードとなり(光取出側電極9がアノードである場合はカソード)、発光光束の混合比調整のため、印加電圧(ないしデューティ比)が個別に調整される。従って、ワイヤ32wにより個別のアノード端子(光取出側電極9がアノードである場合はカソード端子)151に接続されている。

[0123] 発光素子チップ161〜163のうち、赤色(R)発光素子チップ163と緑色(G)発光素子チップ161とはAlGaInPを用いた第三態様の構成(例えば、図33の発光素子2800、図34の発光素子2900及び図35の発光素子3000のいずれかである)を採用し

ている。両素子チップの活性層5は、発光波長に応じて異なるAlGaInP組成を有する。他方、青色(B)発光素子チップ162は、InAlGaInなどのIII族窒化物系の青色発光素子として構成されている。該素子チップ162には、III族窒化物によるダブルヘテロ構造の発光層部224(及び電極取出層225)をエピタキシャル成長するための絶縁性のサファイア基板190が残され、該サファイア基板190を介してステージ153上に金属ペースト等により接着されている。異極性電極332は、電極取出層225の表面に形成されている。他方、第三態様に係る発光素子チップ161, 163は、導電性の透明半導体層90を介してステージ153上に金属ペースト等により接着されている。これにより、透明半導体層90が静電気の放電路として機能し、発光層部24の帯電が大幅に軽減される。

[0124] (第四態様)

図33の発光素子2800、図34の発光素子2900及び図35の発光素子3000は、それぞれ素子の上下を反転し、透明半導体層90の第一主表面側に電極を形成せず、該第一主表面側から発光光束を主に取り出すように構成することで、それぞれ図37の発光素子3100、図38の発光素子3200及び図39の発光素子3300とすることができる。これら発光素子3100～3300はいずれも、第三態様の発光素子の第二の構成の実施形態を構成する。各発光素子3100～3300において図33～図35の発光素子2800～3000と同一の符号を有して特に説明のない要素は、同一の構成要素であり、詳細な説明は省略する。ただし、いずれの図においても、光取出側電極は第一電極(第一電極部)9、異極性電極は第二電極(第二電極部)332と読み替える。なお、Au電極等で構成された第一電極9及び第二電極332は省略することもでき、この場合は接合合金化層9a及び21が、それぞれ第一電極部及び第二電極部を構成する。

[0125] 各構成においてGaAsからなる残留基板部1の採用により、接合合金化層9aとの接触抵抗をより低減することができる。また、主化合物半導体層40の第二主表面側に全ての電極9, 332が形成されるので、例えば素子チップを基板上に面実装する構成が容易となり、素子チップのアセンブリ工程の簡略化にも寄与する。

請求の範囲

- [1] GaAs単結晶からなる基板本体部の第一主表面に、GaAsと異なる組成のIII-V族化合物半導体単結晶からなる分離用化合物半導体層をエピタキシャル成長し、該分離用化合物半導体層上にGaAs単結晶からなる副基板部をエピタキシャル成長することにより複合成長用基板を作成し前記副基板部の第一主表面上に発光層部を有した主化合物半導体層をエピタキシャル成長し、さらに前記分離用化合物半導体層を化学エッチングにて除去することにより前記複合成長用基板から前記副基板部が分離されて前記主化合物半導体層の第二主表面上への残留基板部となるとともに、該残留基板部の一部が切り欠かれて形成された切欠き部の底面が、前記発光層部からの発光光束に対する光取出面又は反射面とされることを特徴とする発光素子。
- [2] 前記主化合物半導体層が、前記副基板部の第一主表面に接してエピタキシャル成長されてなることを特徴とする請求の範囲第1項記載の発光素子。
- [3] 前記主化合物半導体層の第一主表面側に主光取出面が形成されるとともに、前記発光層部に発光駆動電圧を印加するための光取出側電極が、前記主化合物半導体層の第一主表面の一部を覆う形で形成され、
前記主化合物半導体層の第二主表面側に位置する前記残留基板部を一部切り欠く形で、該残留基板部の第二主表面に開口する前記切欠き部としての開口部が形成されるとともに、該開口部の周縁に残留基板部が残され、
前記開口部に、前記発光層部からの発光光束を反射させる反射部が設けられたことを特徴とする請求の範囲第1項又は第2項に記載の発光素子。
- [4] 前記主化合物半導体層の第一主表面側に主光取出面が形成されるとともに、前記発光層部に発光駆動電圧を印加するための光取出側電極が、前記主化合物半導体層の第一主表面の一部を覆う形で形成され、
前記主化合物半導体層の第二主表面側に位置する前記残留基板部のうち、前記主光取出面の直下部分の少なくとも一部に切欠き部が形成され、かつ、前記光取出側電極の直下部分の少なくとも一部が残留基板部に含まれることを特徴とする請求の範囲第1項又は第2項に記載の発光素子。
- [5] 前記残留基板部の一部を切り欠いて切欠き部を形成し、該切欠き部の底面を主光

取出面とするとともに、前記残留基板部の第二主表面を覆うように、前記発光層部へ発光駆動電圧を印加するための光取出側電極を形成したことを特徴とする請求の範囲第1項又は第2項に記載の発光素子。

- [6] 発光層部を有した主化合物半導体層が前記副基板部の第一主表面上にエピタキシャル成長され、前記残留基板部の一部に切欠き部が形成され、前記残留基板部の第二主表面を覆うように、前記発光層部へ発光駆動電圧を印加するための第一電極部が形成される一方、

前記発光層部が、前記残留基板部に近い側から第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序で積層されたダブルヘテロ構造を有してなり、前記発光層部の第一主表面側には、前記発光層部からの発光光束のピーク波長に相当する光量子エネルギーよりも大きなバンドギャップエネルギーを有するIII-V族化合物半導体からなる透明半導体層が形成されてなり、さらに、前記主化合物半導体層の第二主表面側から少なくとも前記活性層の第一主表面までの区間を、前記第二主表面の一部領域において切り欠くことにより電極用切欠き部が形成され、その電極用切欠き部の底面に前記第一電極部とは異極性となる第二電極部が配置されるとともに、前記透明半導体層の第一主表面が主光取出面とされることを特徴とする請求の範囲第1項又は第2項に記載の発光素子。

- [7] 請求の範囲第1項ないし第6項のいずれか1項に記載の発光素子の製造方法であって、

GaAs単結晶からなる基板本体部の第一主表面に、GaAsと異なる組成のIII-V族化合物半導体単結晶からなる分離用化合物半導体層をエピタキシャル成長し、該分離用化合物半導体層上にGaAs単結晶からなる副基板部をエピタキシャル成長することにより複合成長用基板を作成する複合成長用基板作成工程と、

前記副基板部の第一主表面上に、発光層部を有した主化合物半導体層をエピタキシャル成長する発光層部成長工程と、

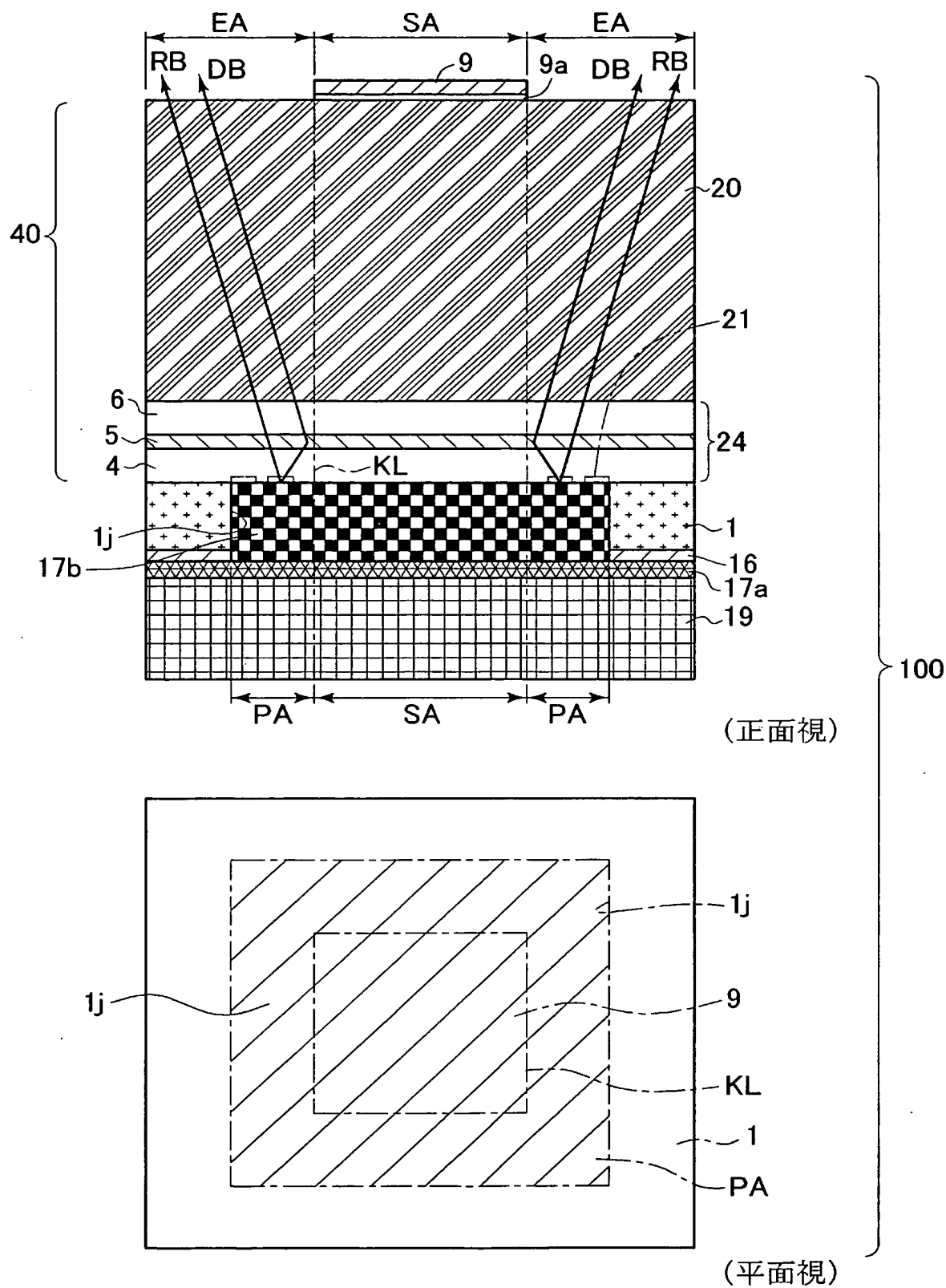
前記分離用化合物半導体層を化学エッチングにて除去することにより前記複合成長用基板から前記副基板部を分離して前記主化合物半導体層の第二主表面上への残留基板部となす基板本体部除去工程と、

前記残留基板部の一部を切り欠いて切欠き部を形成する切欠き部形成工程と、
を有することを特徴とする発光素子の製造方法。

THIS PAGE BLANK (USPTO)

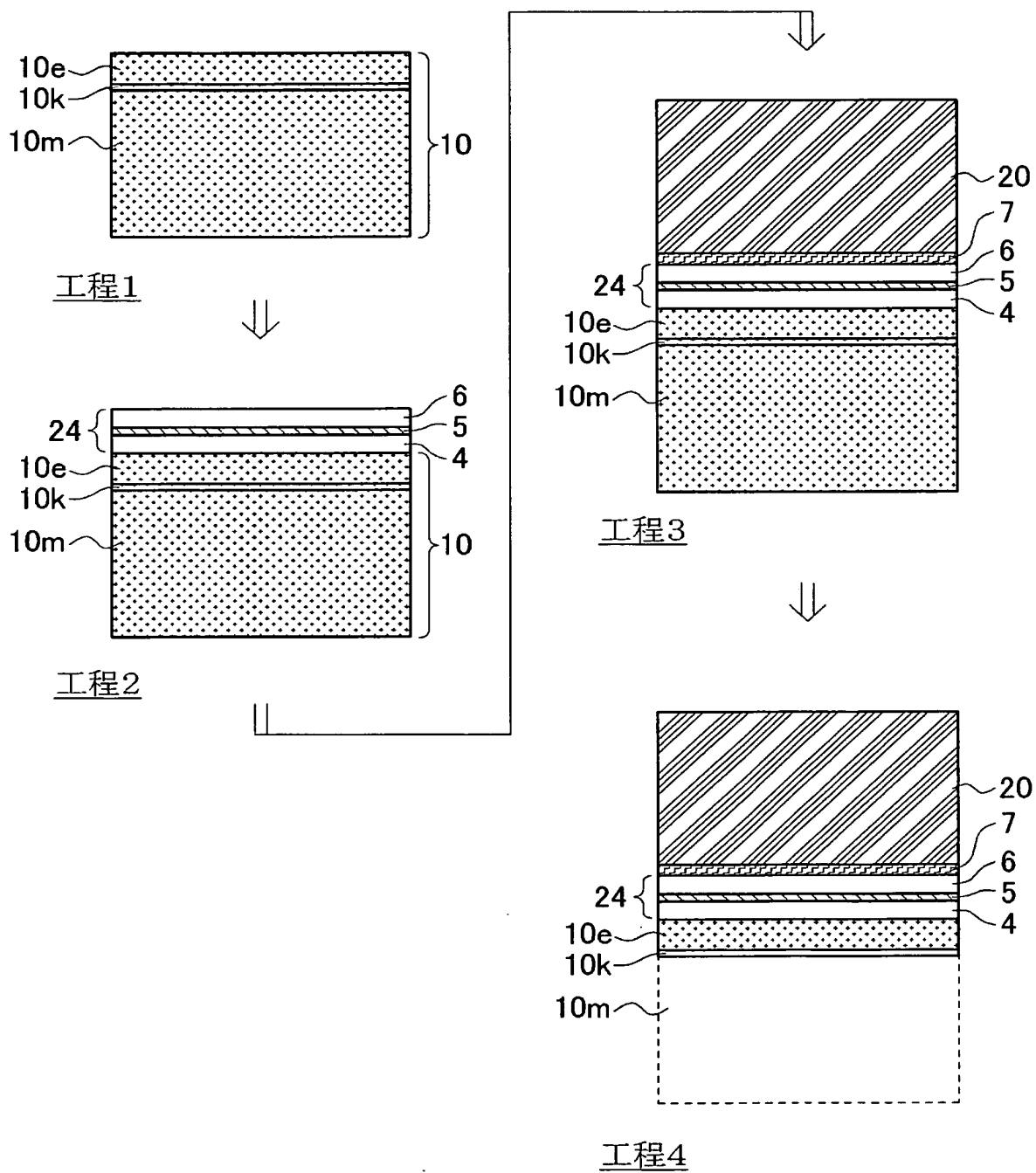
THIS PAGE BLANK (USPTO)

[図1]



THIS PAGE BLANK (USPTO)

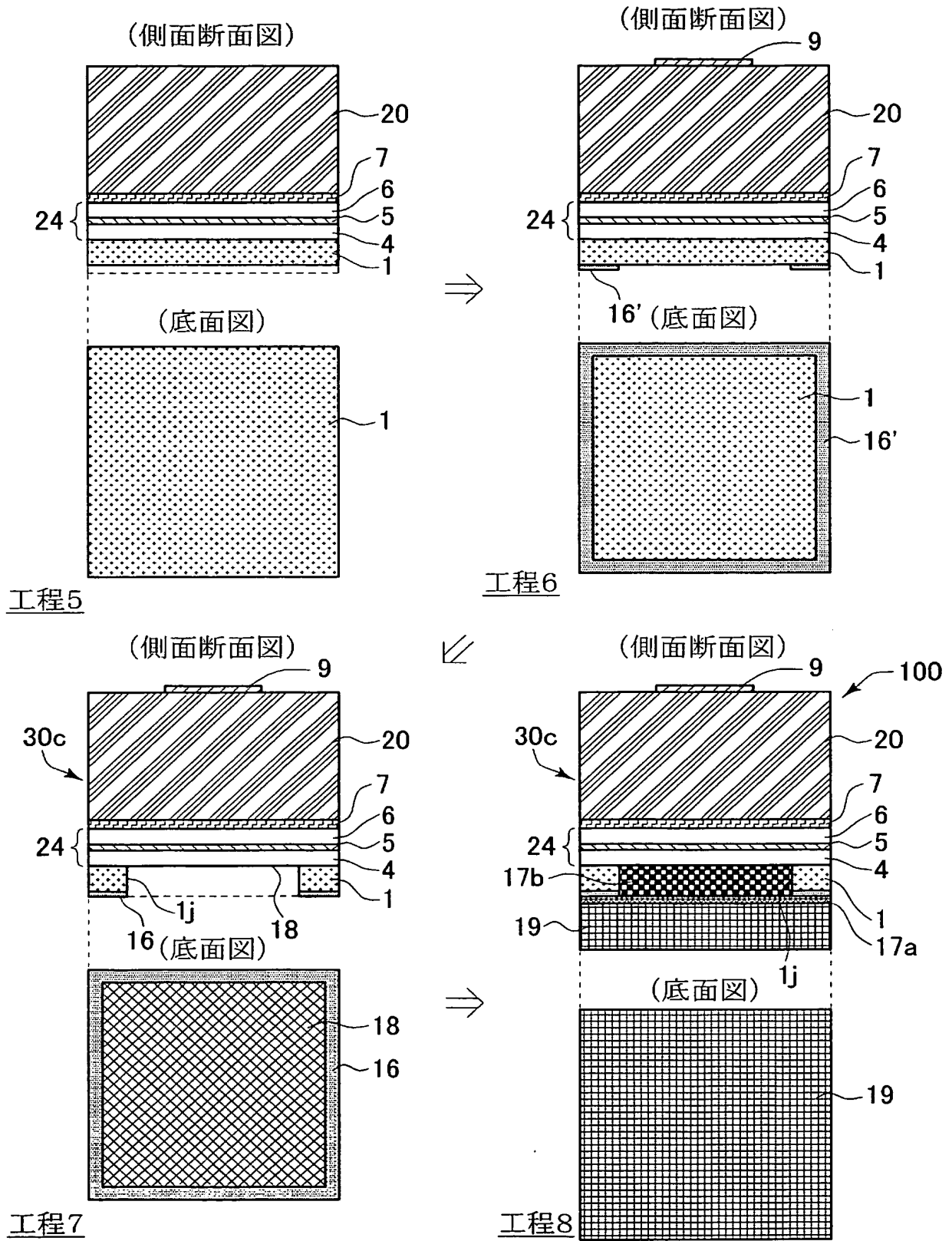
[図2]



THIS PAGE BLANK (USPTO)

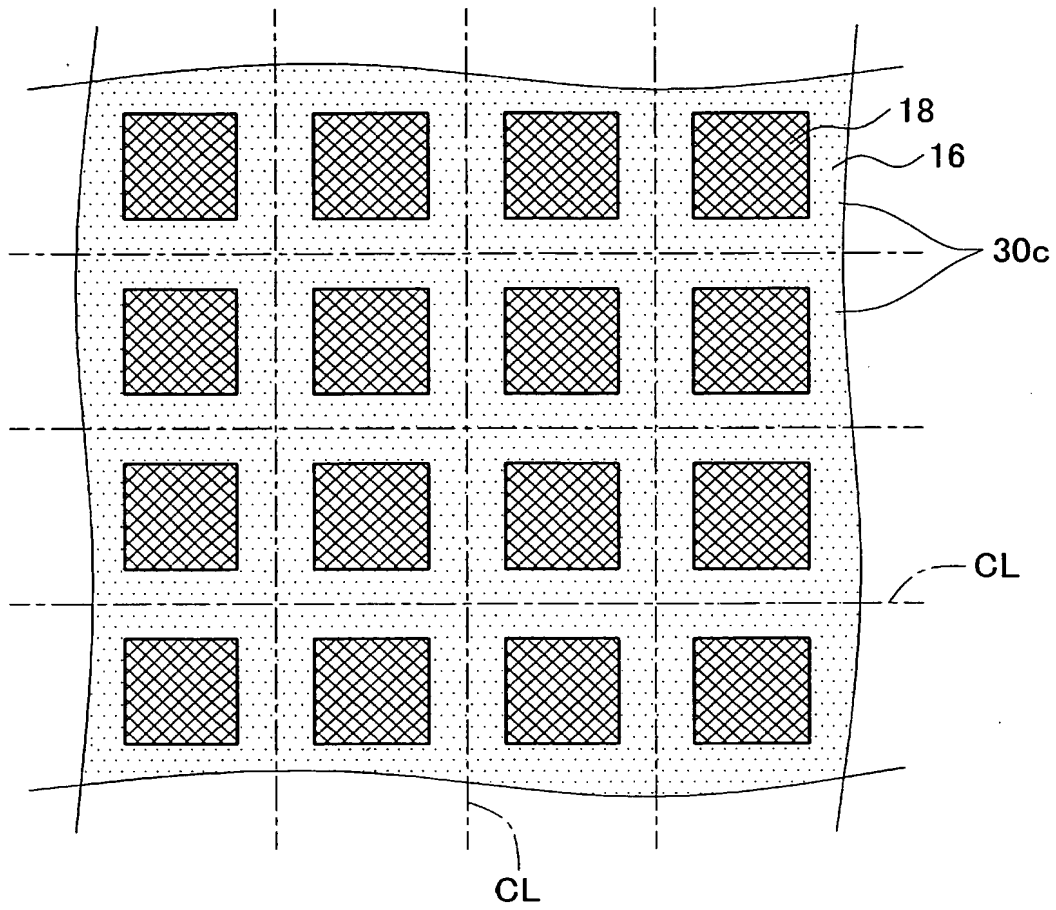
THIS PAGE BLANK (USPTO)

[図3]



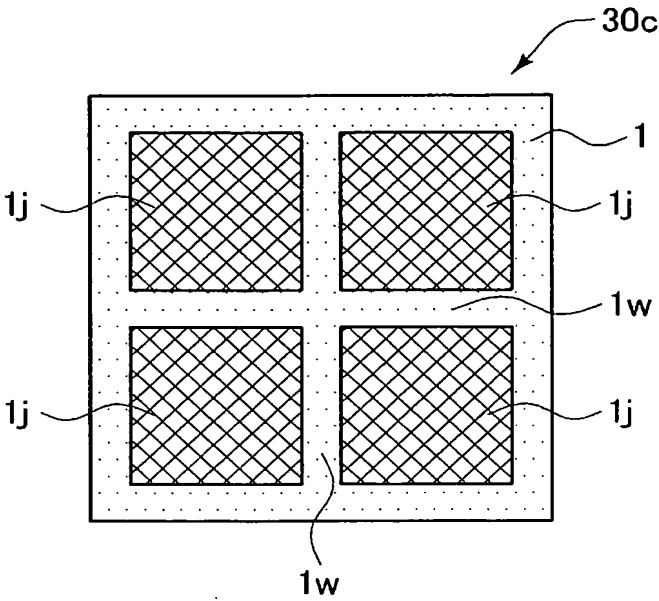
THIS PAGE BLANK (USPTO)

[図4]

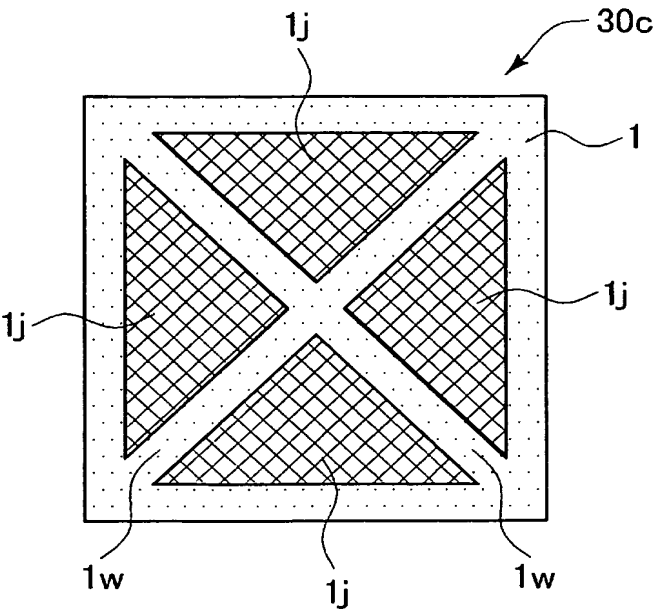


THIS PAGE BLANK (USPTO)

[図5]



[図6]

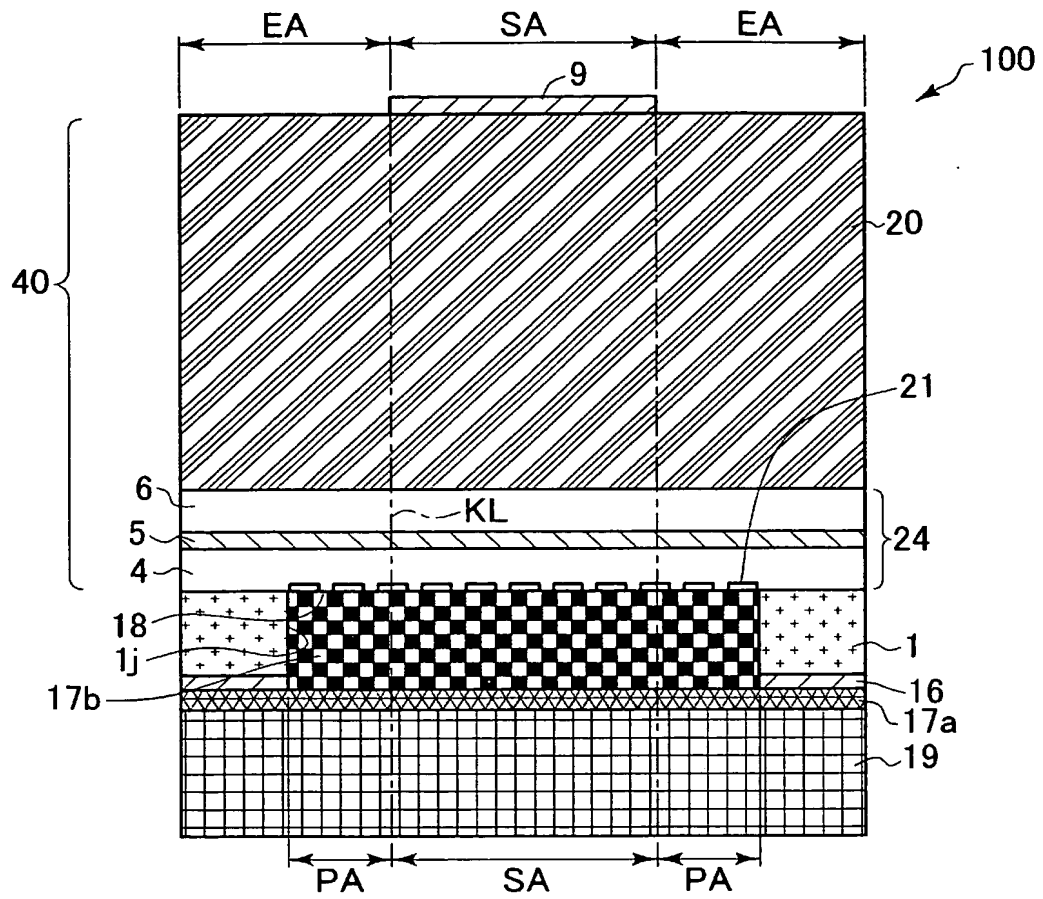


THIS PAGE BLANK (USPTO)

THIS PAGE BLANK (USPTO)

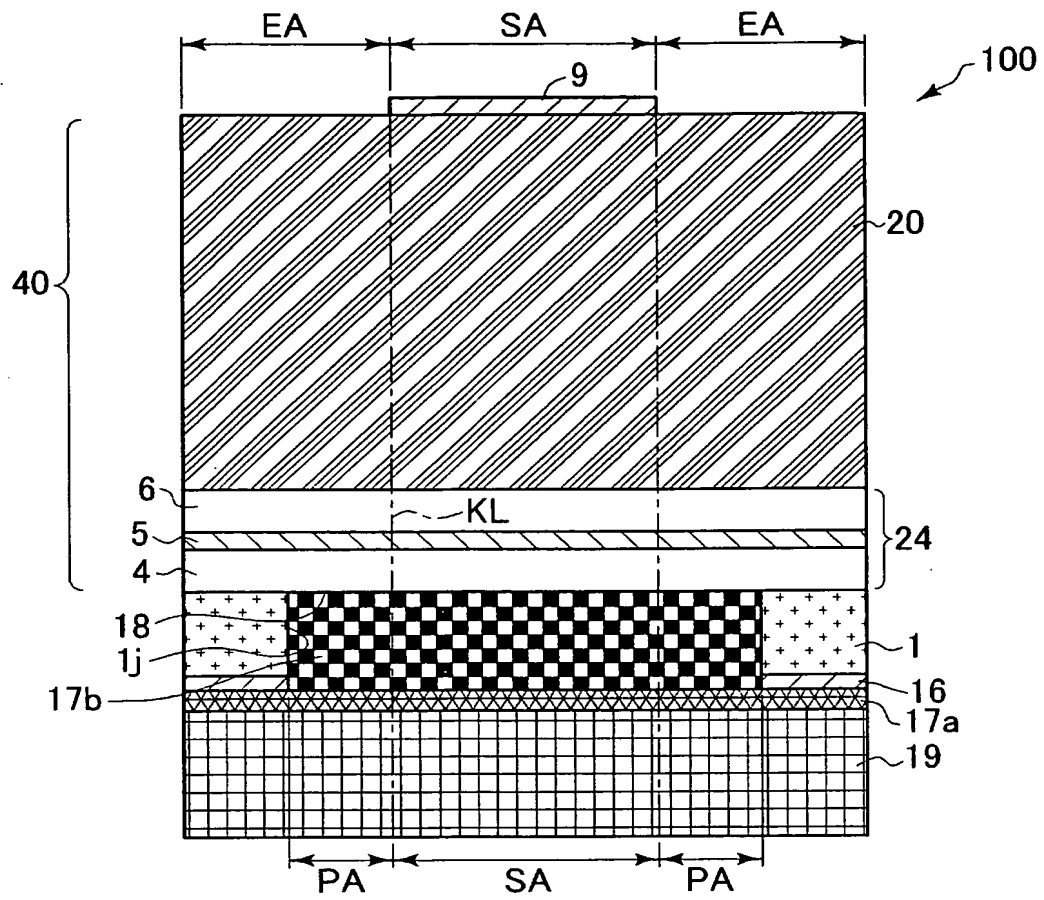
THIS PAGE BLANK (USPTO)

[図9]



THIS PAGE BLANK (USPTO)

[図10]

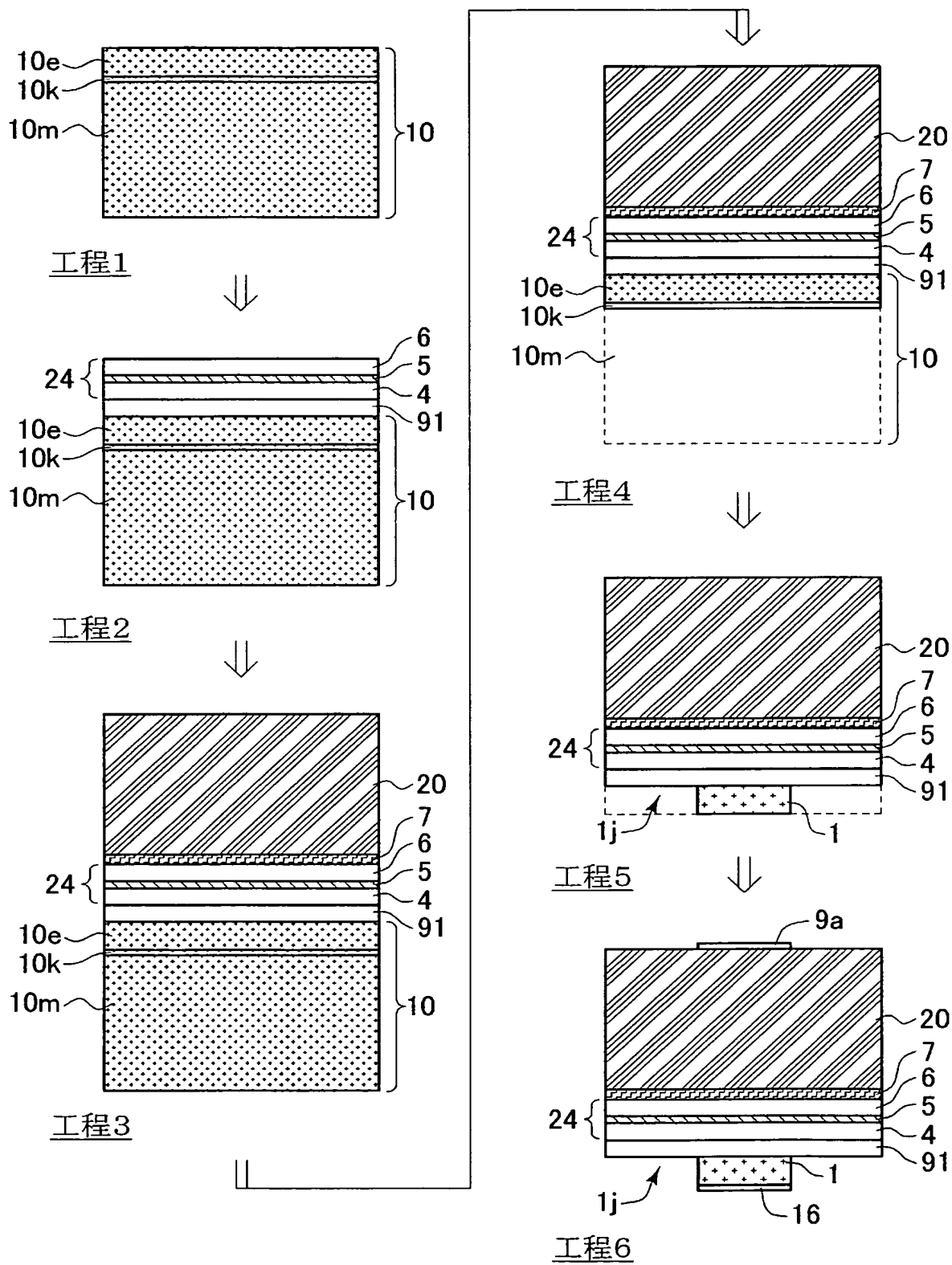


THIS PAGE BLANK (USPTO)

[illegible]

THIS PAGE BLANK (USPTO)

[図12]



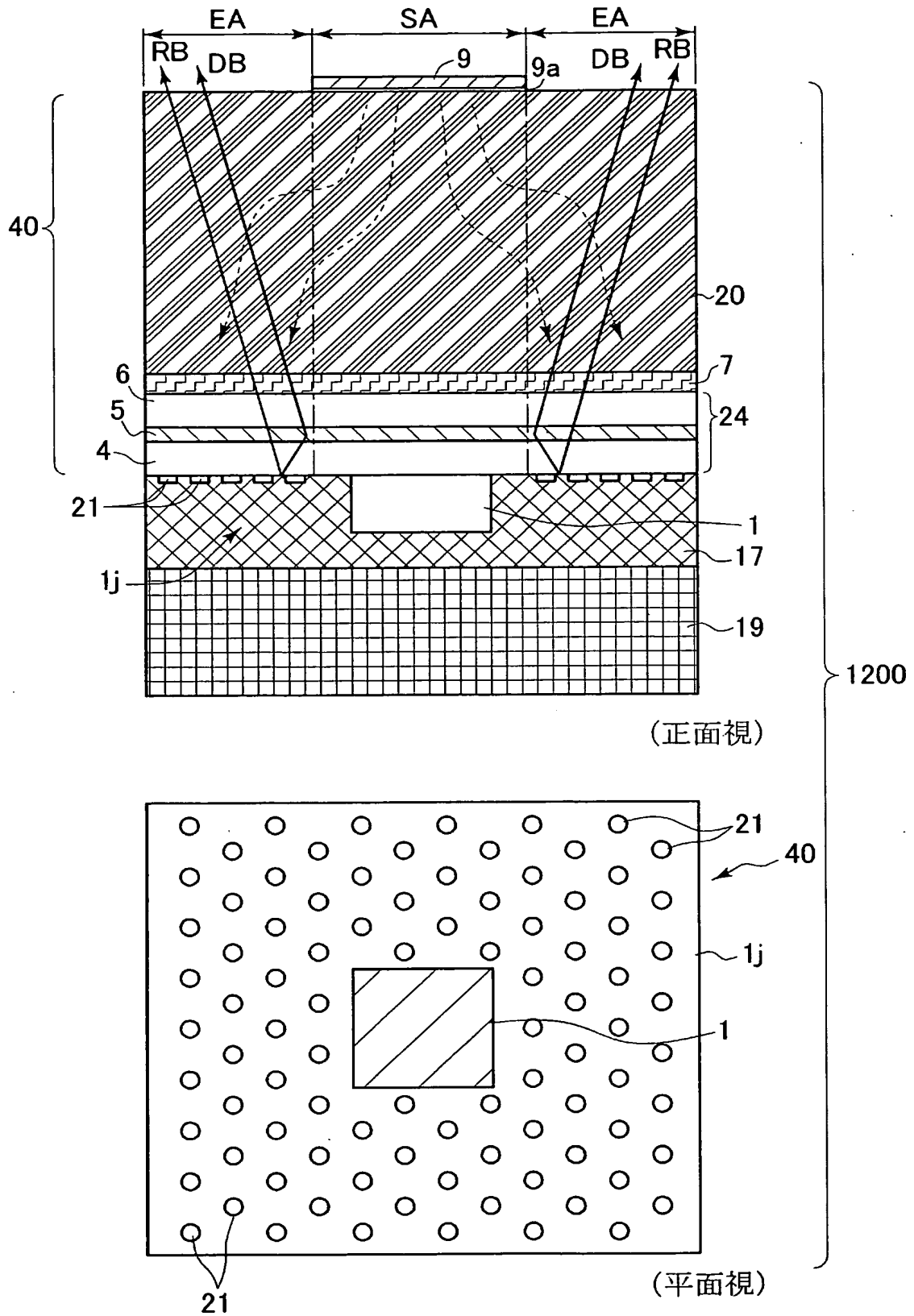
THIS PAGE BLANK (USPTO)

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Figure 1 is a plan view of a substrate 1. The substrate 1 is a rectangular area containing a grid of circular holes 21. A central rectangular region 40 is defined by diagonal hatching. The label 1j points to the right edge of the substrate 1. The label 21 points to one of the holes. The label 40 points to the hatched region. The text (平面視) is located at the bottom right of the figure.

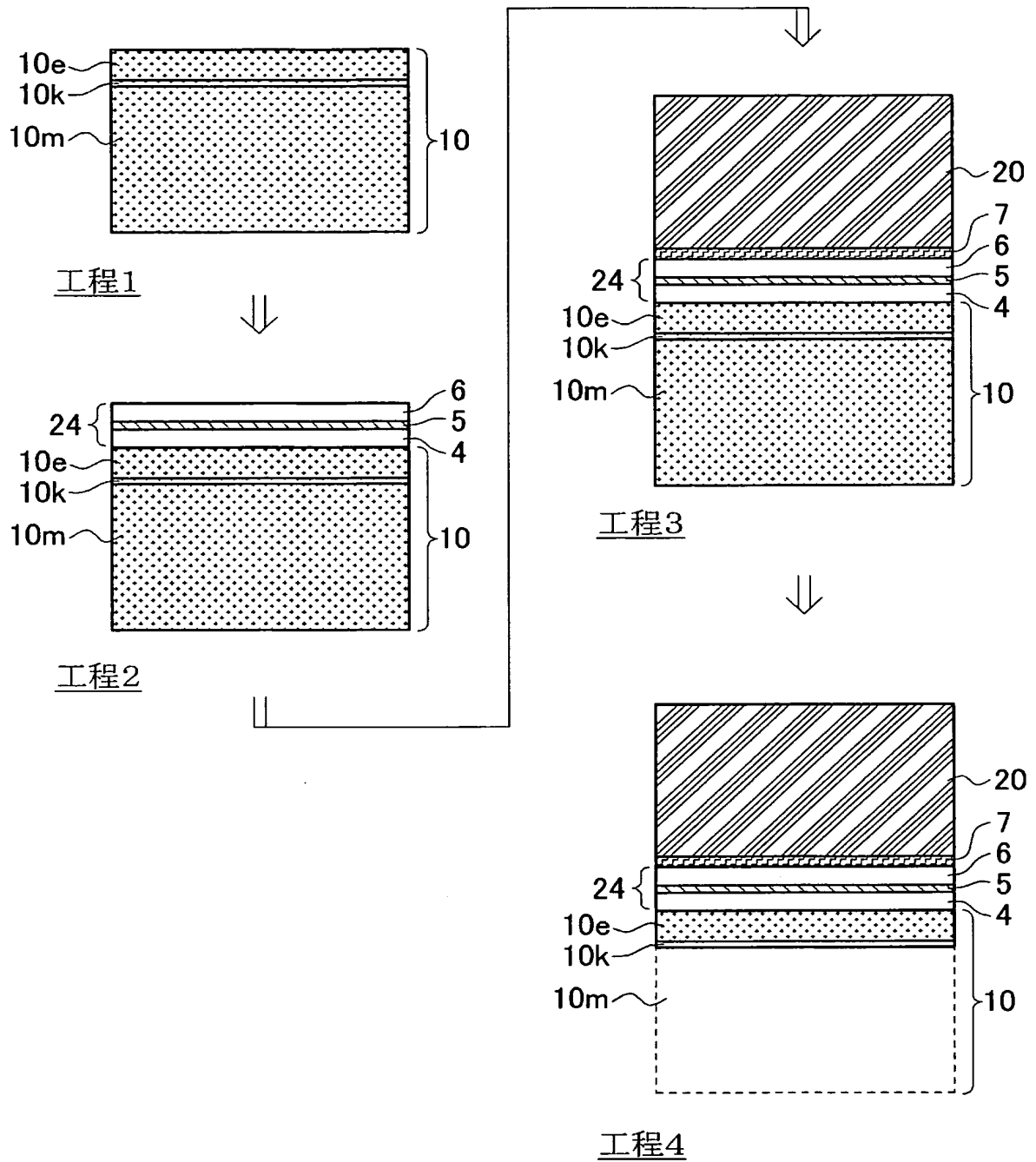
THIS PAGE BLANK (USPTO)

[図15]



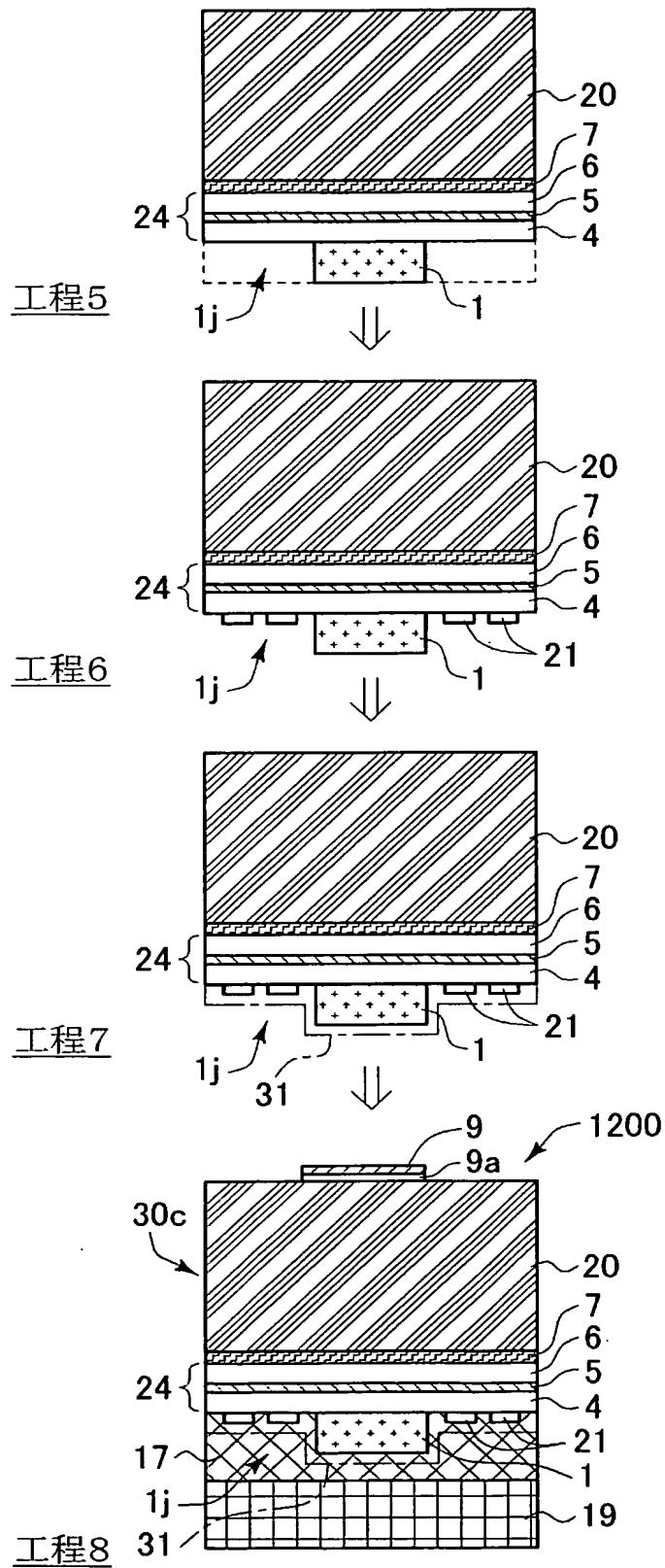
THIS PAGE BLANK (USPTO)

[図16]



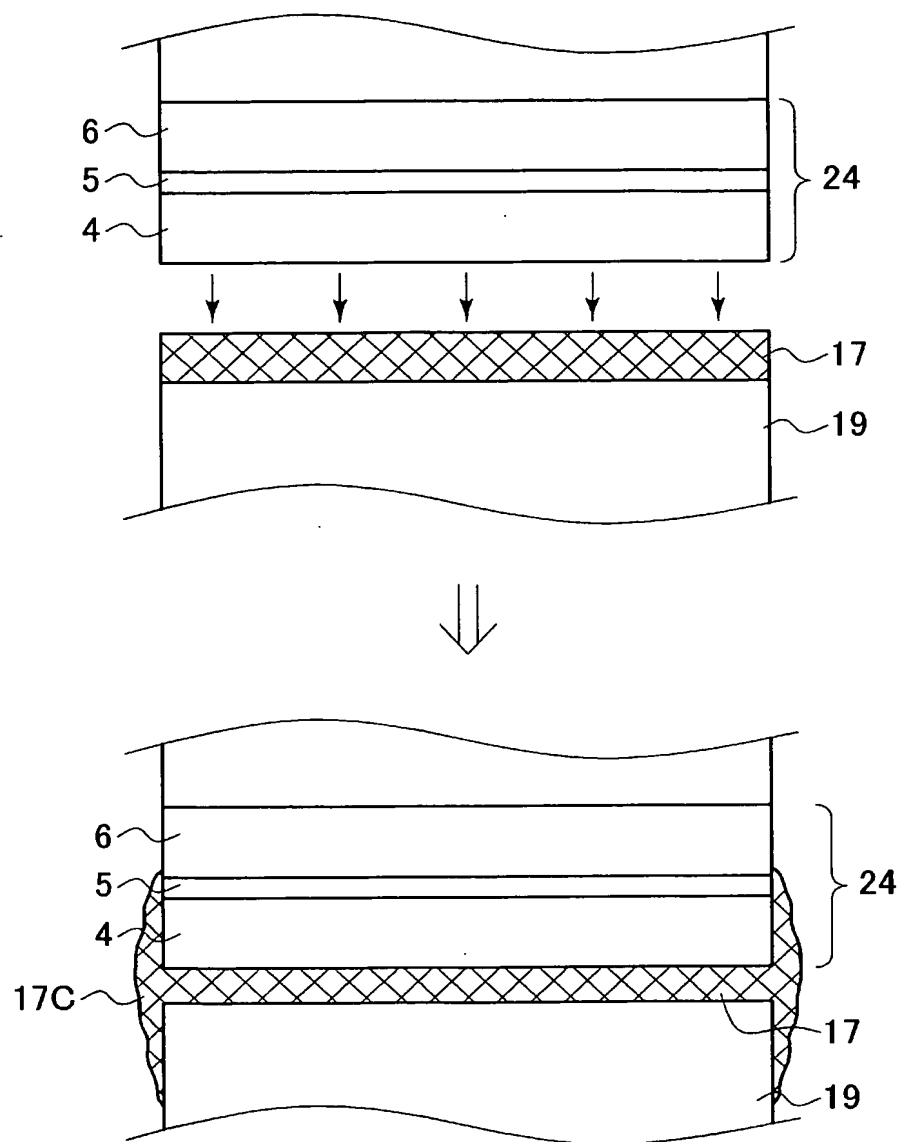
THIS PAGE BLANK (USPTO)

[図17]



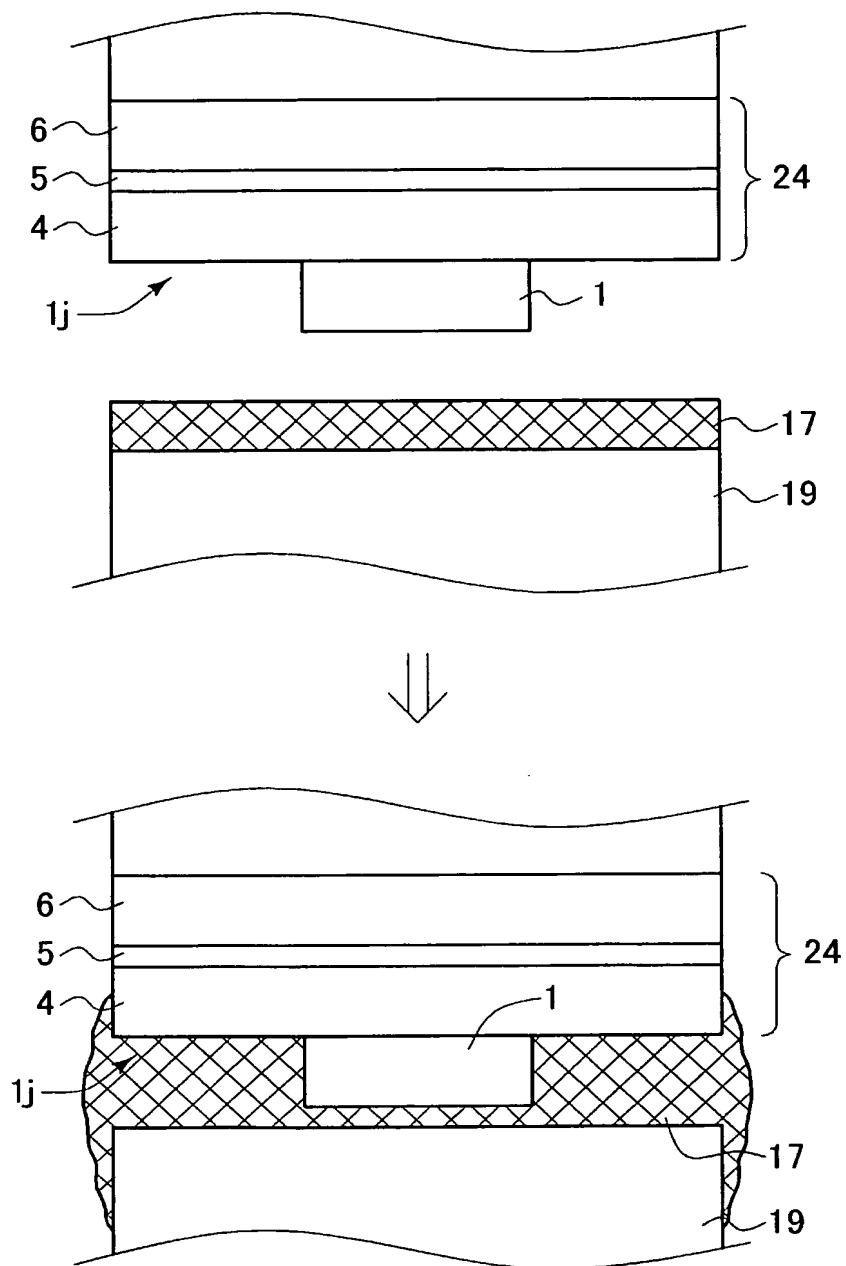
THIS PAGE BLANK (USPTO)

[図18]



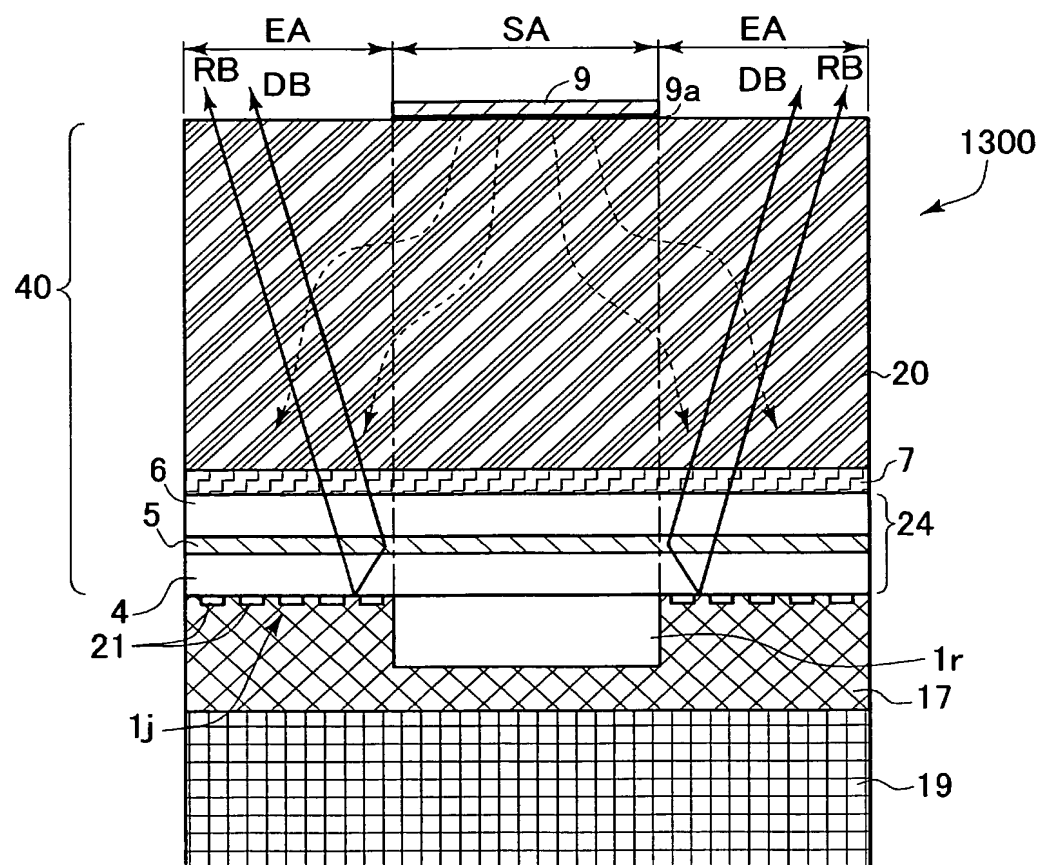
THIS PAGE BLANK (USPTO)

[図19]



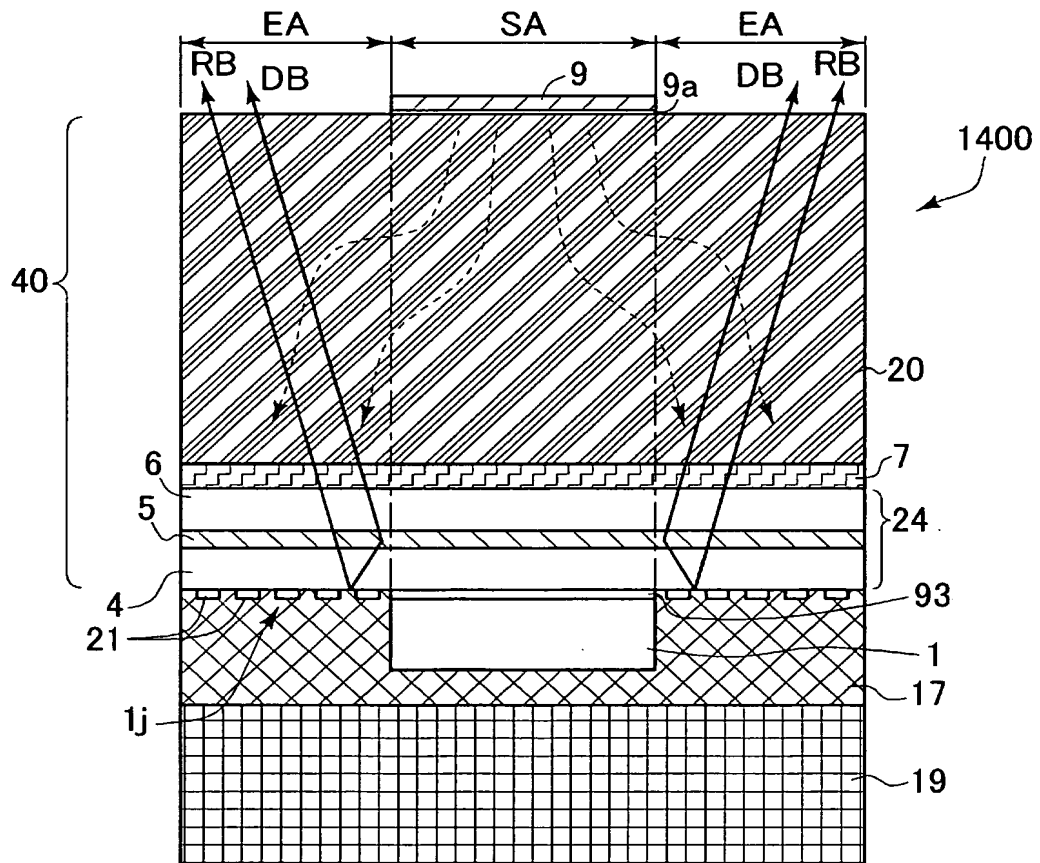
THIS PAGE BLANK (USPTO)

[図20]



THIS PAGE BLANK (USPTO)

[図21]

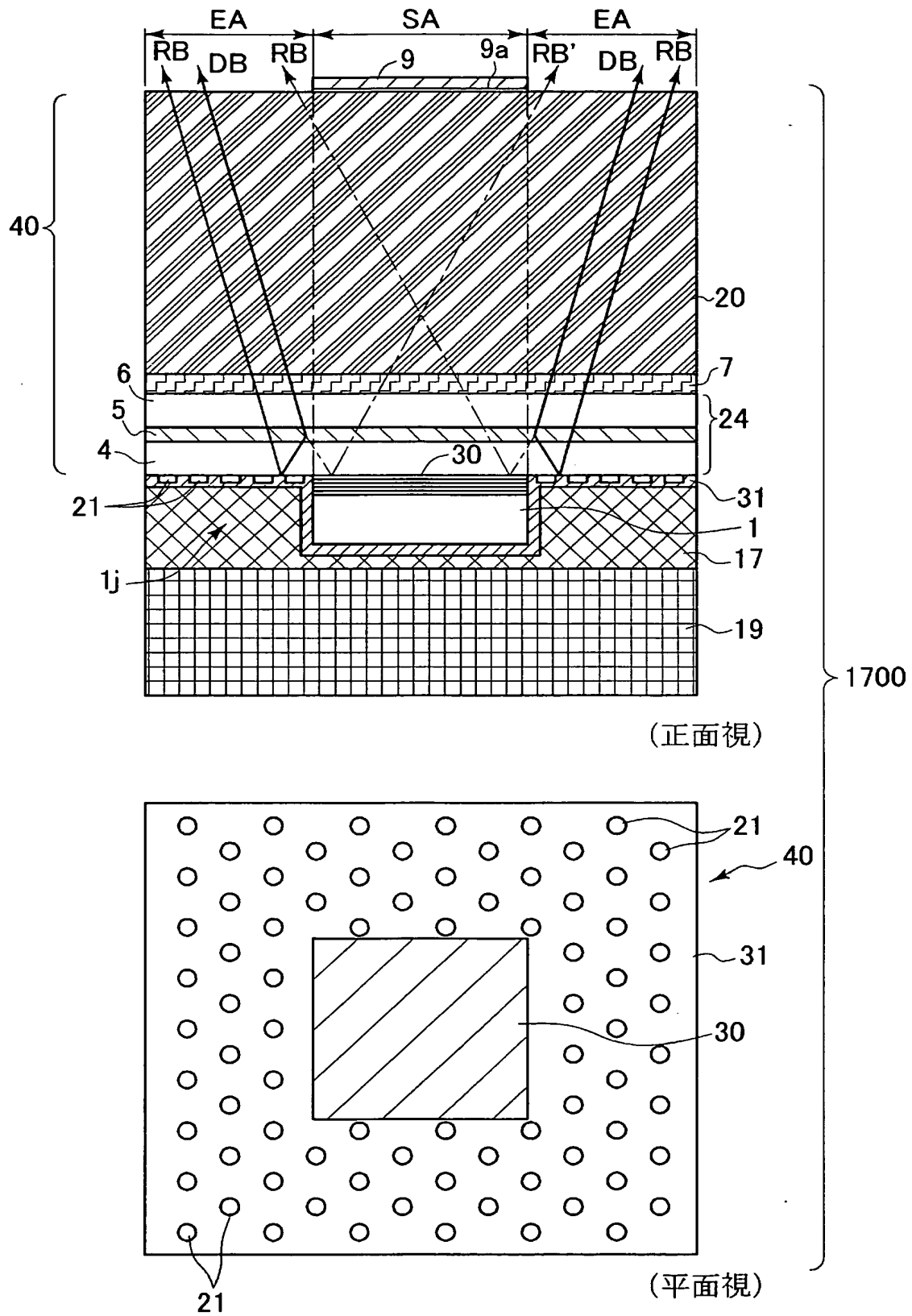


THIS PAGE BLANK (USPTO)

THIS PAGE BLANK (USPTO)

THIS PAGE BLANK (USPTO)

[図25]

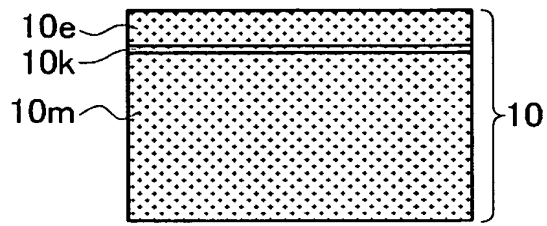


THIS PAGE BLANK (USPTO)

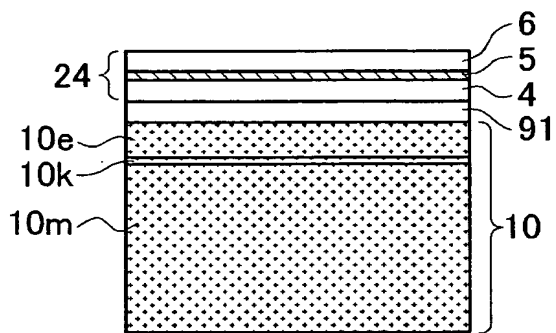
Figure 2 is a cross-sectional view of a semiconductor device 2100. The device includes a substrate 51, a base layer 52, a stack of layers 40, and a top layer 9. The stack of layers 40 includes layers 90, 21, 31, and 17. The top layer 9 includes a layer 9a and a layer 1. A detailed view of the corner shows the interface between the substrate 51, the base layer 52, and the stack of layers 40.

ELUC DAGE DI ANK 110701

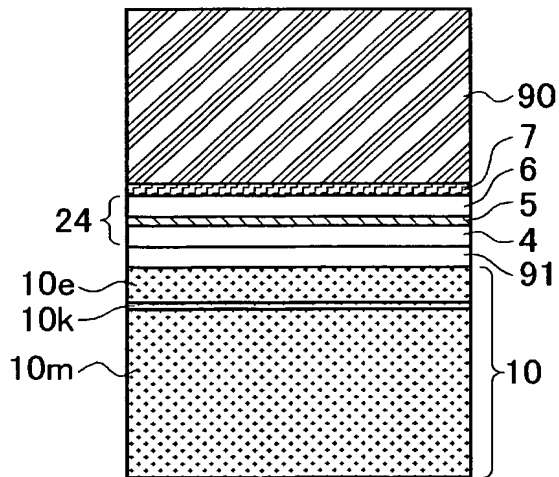
[図27]



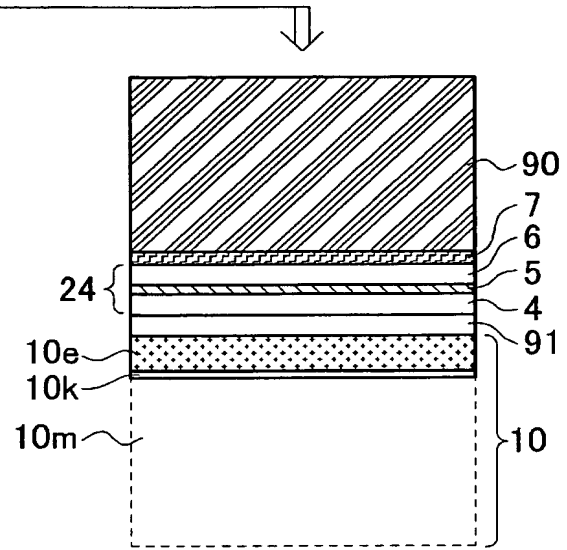
工程1



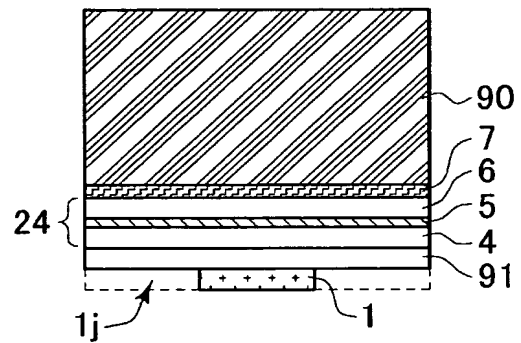
工程2



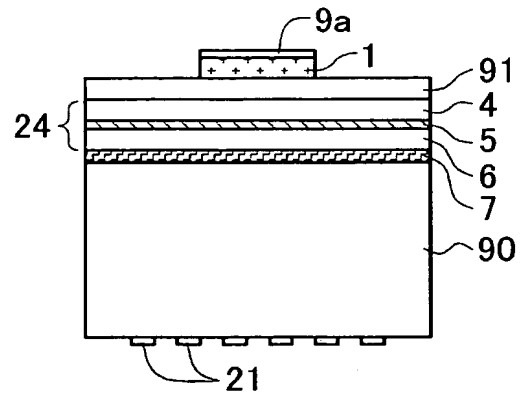
工程3



工程4



工程5



工程6

THIS PAGE BLANK (USPTO)

THIS PAGE BLANK (USPTO)

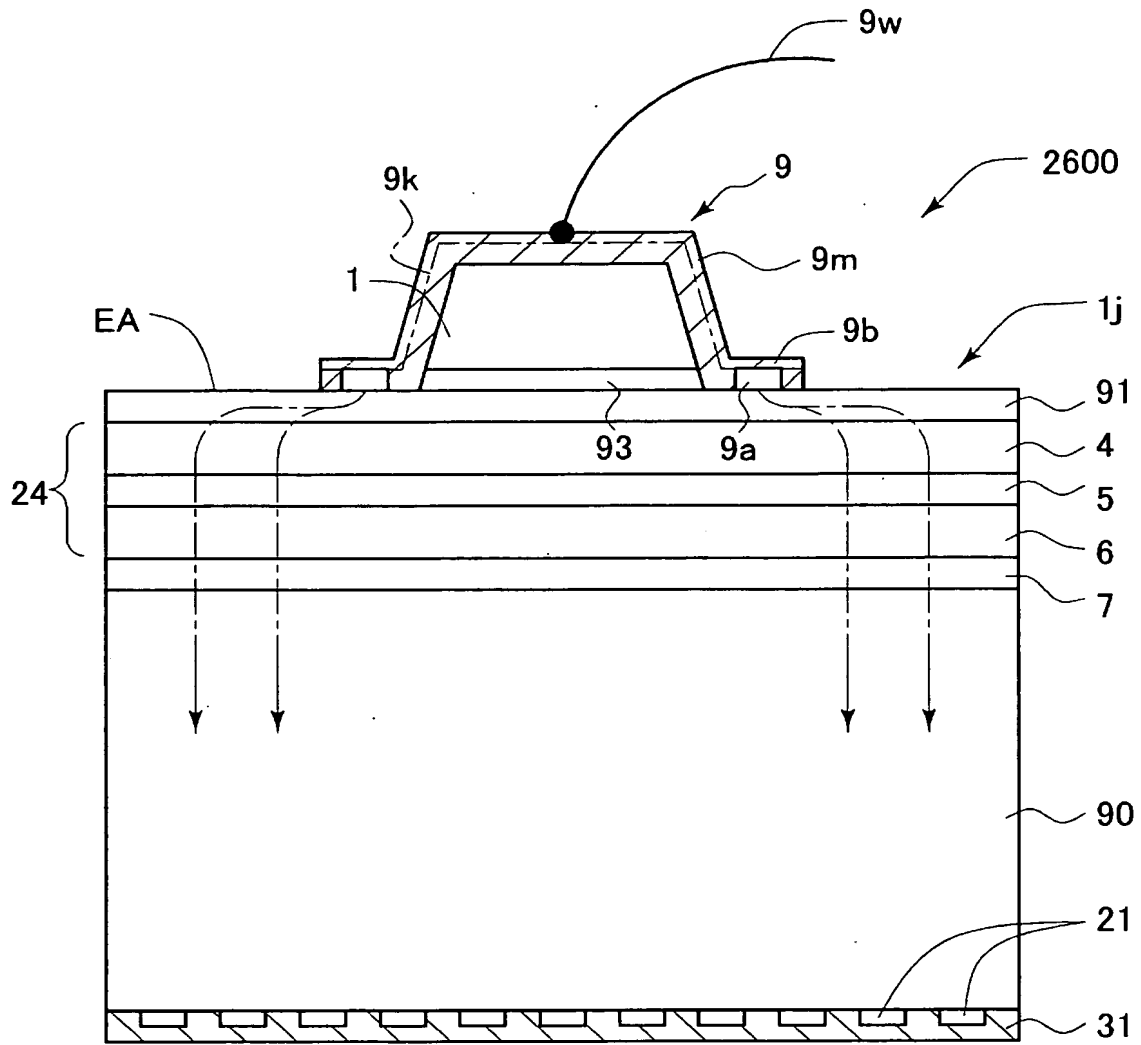
[illegible]

THIS PAGE BLANK (USPTO)

This cross-sectional diagram illustrates a semiconductor device. The main body consists of several stacked layers: a bottom layer 90, followed by layers 91, 4, 5, 6, and 7. A top layer EA covers the upper surface. In the center, there is a raised structure 9. This structure has a base 9a, side walls 9b, and a top surface 9k. A feature 9m is located on the right side wall, and 9w is on the top surface. A small rectangular feature 1r is positioned on the left side of the base 9a. On the far right, a vertical edge or contact is labeled 1j. At the very bottom, there are two rows of small rectangular structures, labeled 21 and 31. An arrow points from the label 2500 towards the central structure 9. Dashed arrows indicate light or signal paths passing through the layers 4, 5, 6, and 7.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

[図31]

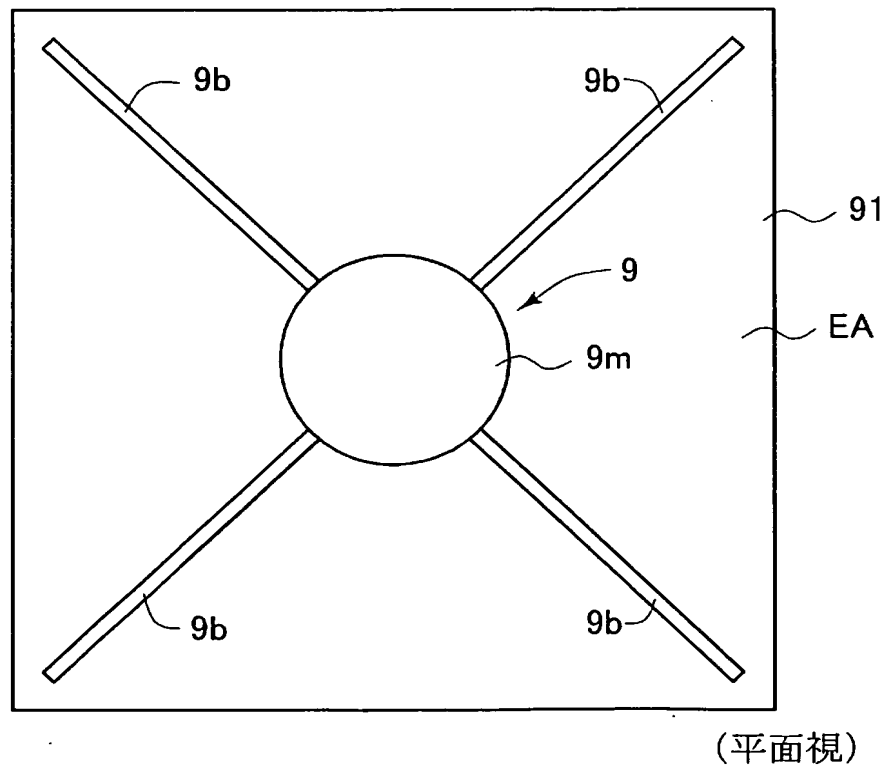
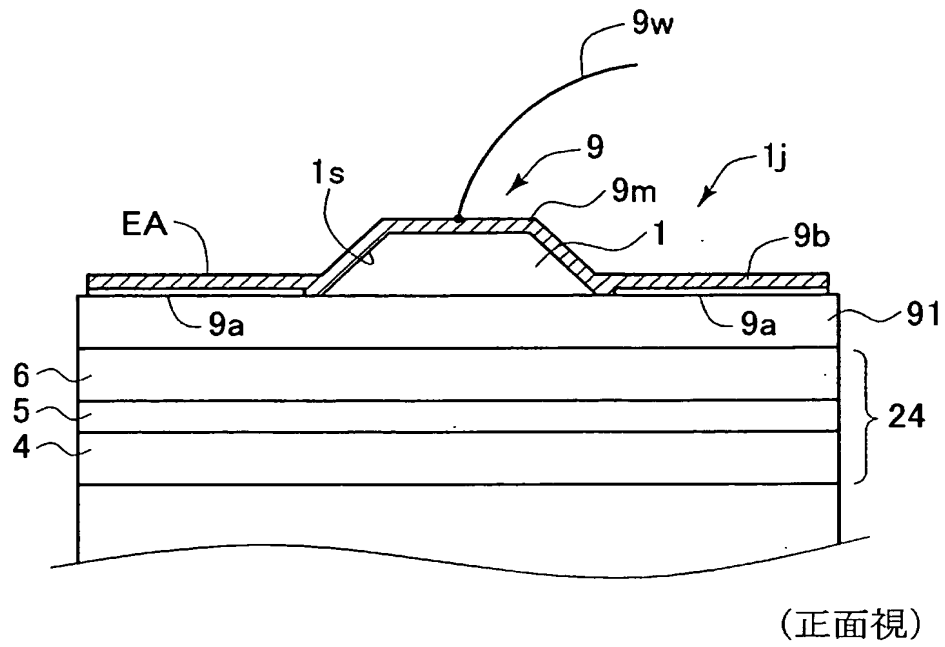


(

(

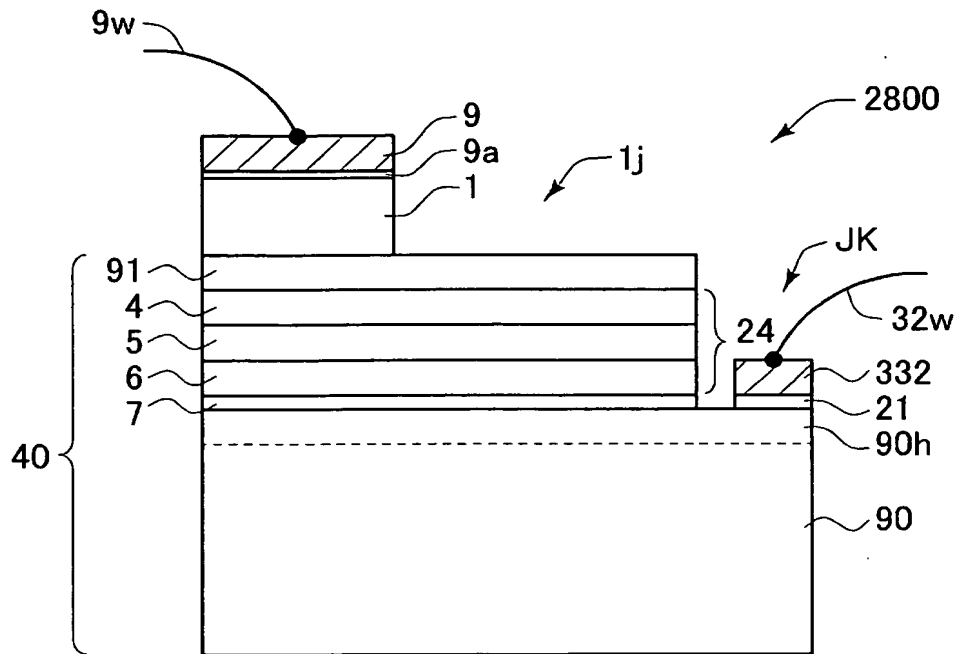
THIS PAGE BLANK (USPTO)

[図32]

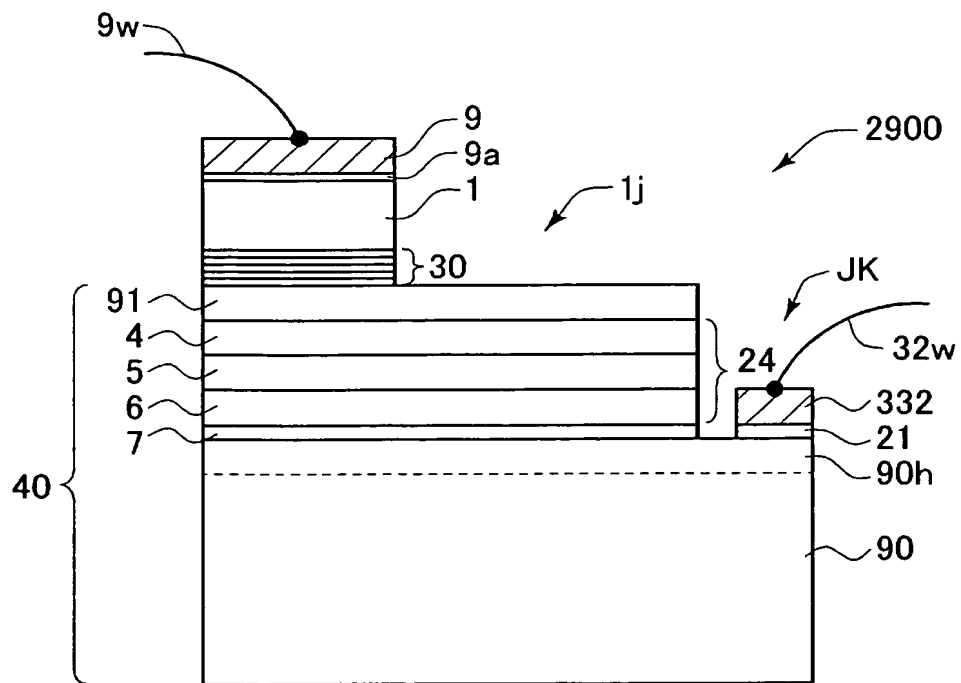


THIS PAGE BLANK (USPTO)

[図33]



[図34]



THIS PAGE BLANK (USPTO)

THIS PAGE BLANK (USPTO)

A cross-sectional view of a semiconductor device 150, showing three regions: G, B, and R. The device is built on a substrate 153. A base layer 90 is formed on the substrate. In region G, a layer 9 is on top of 90, with a structure 24 and a contact 32w. In region B, a layer 9 is on top of 90, with a structure 24 and a contact 32w. In region R, a layer 9 is on top of 90, with a structure 24 and a contact 32w. A large curved arrow 150 points to the right.

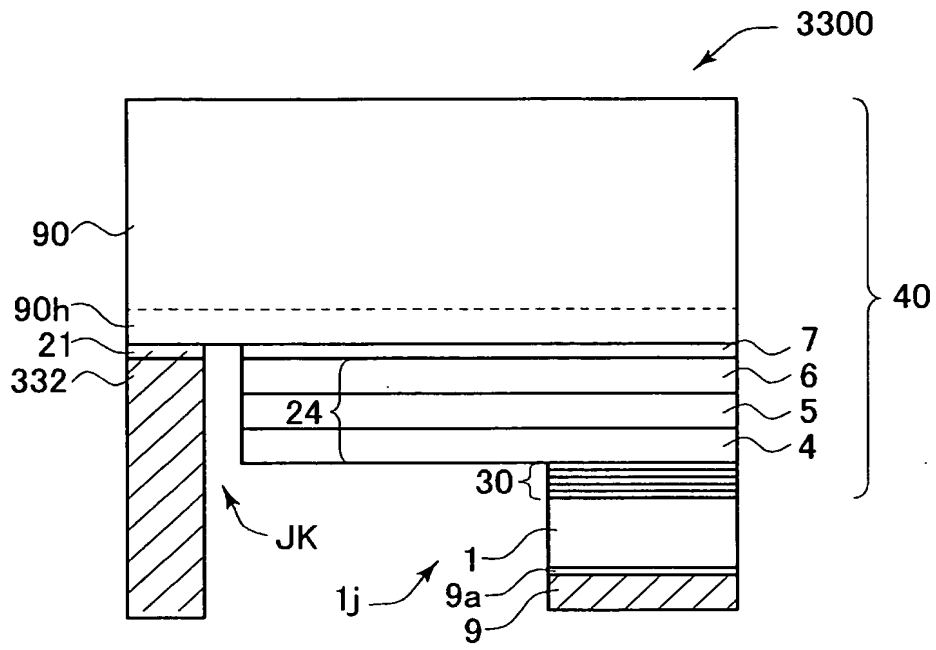
THIS PAGE BLANK (USPTO)

THIS PAGE BLANK (USPTO)

[illegible]

THIS PAGE BLANK (USPTO)

[図39]



THIS PAGE BLANK (USPTO)

THIS PAGE BLANK (USPTO)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/003133

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ H01L33/00, H01S5/323

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ H01L33/00, H01S5/323

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 9-64484 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 07 March, 1997 (07.03.97), Full text; all drawings & US 5822347 A & EP 723322 A2	1-3, 5
X Y	JP 8-335717 A (Rohm Co., Ltd.), 17 December, 1996 (17.12.96), Par. Nos. [0013] to [0030]; Fig. 3 (Family: none)	1, 2, 4, 5 6
X	JP 64-81277 A (Toshiba Corp.), 27 March, 1989 (27.03.89), Full text; all drawings (Family: none)	1, 2, 5

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
10 May, 2005 (10.05.05)

Date of mailing of the international search report
24 May, 2005 (24.05.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/003133

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2002-305327 A (Sharp Corp.), 18 October, 2002 (18.10.02), Full text; all drawings (Family: none)	1-6
E, X	JP 2005-79326 A (Shin-Etsu Handotai Co., Ltd.), 24 March, 2005 (24.03.05), Full text; all drawings (Family: none)	1-7

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP2005/003133

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ H01L33/00, H01S5/323

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ H01L33/00, H01S5/323

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 9-64484 A (松下電器産業株式会社) 1997.03.07, 全文、全図 & US 5822347 A & EP 72332 2 A2	1-3, 5
X Y	JP 8-335717 A (ローム株式会社) 1996.12.17, 【0 013】 - 【0030】 欄, 図3 (ファミリーなし)	1, 2, 4, 5 6

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

10.05.2005

国際調査報告の発送日

24.5.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

土屋 知久

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

2K

8826



国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP2005/003133

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 64-81277 A (株式会社東芝) 1989.03.27, 全文、 全図 (ファミリーなし)	1, 2, 5
Y	JP 2002-305327 A (シャープ株式会社) 2002.10. 18, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-6
E, X	JP 2005-79326 A (信越半導体株式会社) 2005.03. 24, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-7